



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

OHJELMOINTITAVAT ROBOTTIHITSAUKSEN TEHOSTAMISESSA

TEKIJÄ: Simo Lybeck

Koulutusala			
Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma			
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t)			
Simo Lybeck			
Työn nimi			
Ohjelmointitavat robottihitsauksen tehostamisessa			
Päiväys	25.4.2018	Sivumäärä/Liitteet	39/0
Ohjaaja(t)			
TKI-asiantuntija Jenni Toivanen ja projekti-insinööri Aku Tuunainen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)			
Savonlinna Works Oy			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, saavutetaanko työn toimeksiantajan Savonlinna Works Oy:n robottihitsausasemilla tuottavuuden ja käyttöasteen kasvua, käyttämällä opettamalla ohjelmoinnin sijasta muita robotin ohjelmointitapoja uusien kappaleiden robottihitsauksessa.</p> <p>Työ on jaettu teoria- ja käytännön osuuteen. Teoriaosuudessa käsitellään kiertyvänivelisten teollisuusrobottien käyttöä MIG/MAG-hitsauksessa sekä robottihitsauksen asettamia vaatimuksia tuotannossa, unohtamatta robotityöturvallisuutta. Pääpaino on robotin ohjelmoinnissa, missä käsitellään esimerkiksi robotin lähi- ja etäohjelmointitapoja. Robottihitsauksen tuottavuutta käsitellään muun muassa vertailemalla robottihitsausta käsinhitsaukseen ja tuottavuuden parantamista ohjelmointitapaa muuttamalla. Simulointia ja kalibrointia käsitellään robotin etäohjelmoinnin kannalta.</p> <p>Käytännön osuudessa perehdyttiin etäohjelmointiohjelmiston käyttöön robotin mallipohjaisessa ohjelmoinnissa ja sen mahdollisuuksiin robotin ohjelmointiin kappaleen MIG/MAG-hitsauksessa. Toimeksiantajalta valittiin yksi case-esimerkkikappale, jolla havainnollistettiin etäohjelmoinnin työnkulkua ja siitä saatuja kokemuksia vertailtiin opettamalla ohjelmointiin. Vertailusta tehtiin johtopäätökset, saavutetaanko etäohjelmoinnilla tuottavuuden ja käyttöasteen kasvua toimeksiantajan robottihitsausasemilla.</p> <p>Ohjelmointitapojen vertailussa todettiin, että mallipohjaisen etäohjelmoinnin avulla robotti pystytään ohjelmoimaan kappaleen hitsaukseen huomattavasti nopeammin kuin opettamalla ohjelmoinnissa. Ohjelmointiin kuluva aikaa lyhentämällä saavutettaisiin robottihitsauksessa tuottavuuden ja käyttöasteen kasvua. Etäohjelmoinnin hyödyt tulevat esille hitsigeometrialtaan monimuotoisissa kappaleissa, kuten case-esimerkkikappaleen kohdalla voitiin todeta.</p> <p>Työn johtopäätös Savonlinna Works Oy:n osalta oli, että robottihitsausasemilla ei saavuteta tuottavuuden ja käyttöasteen kasvua pelkästään uudella robotin ohjelmointimenetelmällä, kuten etäohjelmoinnin käyttöönotolla. Etäohjelmoinnin hyödyntäminen vaatisi investointeja muun muassa kappaleenkäsittelylaitteisiin ja hitsauskiinnittimiin. Investoinnit mahdollistaisivat laajemmin uusien kappaleiden robottihitsauksen ja etäohjelmoinnin käyttöönoton.</p>			
Avainsanat			
robottihitsaus, ohjelmointitavat, etäohjelmointi, tuottavuus, käyttöaste			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Simo Lybeck			
Title of Thesis Intensification of Robot Welding by Programming Methods			
Date	25.4.2018	Pages/Appendices	39/0
Supervisor(s) Ms Jenni Toivanen, RDI Specialist and Mr Aku Tuunainen, Project Engineer			
Client Organisation /Partners Savonlinna Works Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to examine, if an increase of productivity and utilization rate can be achieved in robot welding by using different programming methods, instead of using online programming with a Teach Pendant. The study was commissioned by Savonlinna Works Oy.</p> <p>The study is divided into a theoretical and a practical part. The theoretical part contains use of articulated robots in MIG/MAG welding and what requirements robot welding set for production, not forgetting robotic safety. The main focus is on programming methods for robots, which include a different kinds of online and offline programming methods. The productivity of robot welding is dealt with for example by comparing robot welding to manual welding and increasing productivity by changing programming methods.</p> <p>In the practical part, an offline programming software was used to find out, what benefits and possibilities it will bring to programming a robot for MIG/MAG welding. A case workpiece was selected from the client to demonstrate a work flow of the offline programming. The results and experiences obtained from the offline programming were compared to online programming with a Teach Pendant. From the comparison it was drawn a conclusion, if an increase of productivity and utilization rate can be achieved by offline programming.</p> <p>As conclusion, an increase of productivity and utilization rate in robot welding at Savonlinna Works Oy will not be achieved by offline programming alone. The implementation of offline programming in robot welding requires investments, such as workpiece positioners and welding fixtures. This will enable new workpieces for robot welding and implementation of offline programming.</p>			
Keywords robot welding, programming methods, offline programming, productivity, utilization rate			
Public			

ALKUSANAT

Robottihitsauksen tehostaminen tarjoaa monenlaisia tutkimus- ja kehitysprojekteja ja haluan kiittää työn toimeksiantajaa mielenkiintoisesta opinnäytetyöaiheesta. Lisäksi kiitän opinnäytetyöohjaajia TKI-asiantuntija Jenni Toivasta ja projekti-insinööri Aku Tuunaista asiantuntevasta ohjauksesta sekä tuesta opinnäytetyöprosessin aikana. Savonia-ammattikorkeakoulussa on vahvaa osaamista robottihitsauksesta, joten edellytykset opinnäytetyön tekemiseen olivat erinomaiset.

Savonlinnassa 2.5.2018

Simo Lybeck

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	YRITYSESITTELY	7
3	TEOLLISUUSROBOTIT HITSAUSTUOTANNOSSA.....	8
3.1	Kiertyvänivelinen teollisuusrobotti	8
3.2	Turvallisuus	8
3.3	Hitsaus.....	11
3.4	Robottihitsaus.....	13
3.4.1	Robottihitsauksen asettamia vaatimuksia	14
3.4.2	Railonhaku ja railonseuranta	14
4	ROBOTIN OHJELMOINTI.....	16
4.1	Opettamalla ohjelmointi	16
4.2	Taluttamalla ohjelmointi	17
4.3	Konenäköpohjainen ohjelmointi	18
4.4	Parametrinen ohjelmointi.....	18
4.5	Mallipohjainen ohjelmointi	19
4.6	Tekstipohjainen ohjelmointi	21
4.7	Virtuaalitodellisuus ohjelmoinnissa	21
4.8	Lisätty todellisuus ohjelmoinnissa.....	22
5	TUOTTAVUUS ROBOTTIHITSAUKSESSA	24
5.1	Robottihitsaus vs. käsinhitsaus.....	25
5.2	Hitsausrobotin käyttöaste	26
5.3	Ohjelmointitavat tuottavuuden parantamisessa	26
6	ETÄOHJELMOINNIN HYÖDYNTÄMINEN ROBOTTIHITSAUKSESSA.....	27
7	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	32
8	YHTEENVETO.....	35
	LÄHTEET	37

1 JOHDANTO

Kiristyvän kilpailun ja osaavan työvoiman puutteen vuoksi konepajoissa on tarve lisätä mekanisoinnin ja hitsausautomaation määrää hitsauksessa muun muassa tuottavuuden ja kilpailukyvyn parantamiseksi. Robottihitsauksessa robotin ohjelmointiin kuluva aika voi hitsattavasta kappaleesta ja sarjan koosta riippuen olla merkittävä osa robottihitsaustyön kokonaisajasta. Yksi perinteisimmistä tavoista robotin ohjelmointiin on ollut opettamalla ohjelmointi, jossa robotin käyttäjä eli operaattori ohjelmoi robottia sen välittömässä läheisyydessä. Opettamalla ohjelmoinnin yksi haittapuolista on robotin ja hitsattavan kappaleen fyysinen tarve ohjelmoinnin ajaksi, jolloin robotin potentiaalista aikaa kappaleen hitsaamisen sijasta käytetään robotin ohjelmointiin. Robotin hitsausajan maksimoimiseksi opettamalla ohjelmoinnin sijasta voidaan käyttää tehokkaampia ohjelmointitapoja.

Työn taustalla on toimeksiantajan Savonlinna Works Oy:n robottihitsauksen kehitysprojektit. Tällä hetkellä yrityksen robottihitsausasemien käyttöasteessa ja robotilla hitsattavien kappaleiden määrässä on kehittämisen varaa, joten uusien ohjelmointitapojen käyttöönotolla tilannetta voisi mahdollisesti parantaa.

Työn tavoitteena on vertailla erilaisia robotin ohjelmointitapoja. Tavoitteena on myös tutkia, saavutaanko yrityksen robottihitsausasemilla käyttöasteen ja tuottavuuden kasvu käyttämällä opettamalla ohjelmoinnin sijasta muita robotin ohjelmointitapoja uusien kappaleiden robottihitsauksessa. Lisäksi selvitetään, miten vaihtoehtoisesta ohjelmointitavasta saataisiin suurin hyöty irti yrityksen robottihitsausasemilla.

Työssä käsitellään kiertyvänivelisiä teollisuusrobotteja robotisoidussa MIG/MAG-hitsauksessa, unohtamatta robottityöturvallisuutta ja robotti-ihminen-yhteistyön mahdollisuuksia. Pääpaino on robotin ohjelmointitavoissa ja sen lisäksi tutkittiin, minkälaisia ohjelmointisovelluksia lisätty todellisuus ja virtuaalitodellisuus mahdollistaisivat. Robottihitsauksen tuottavuuteen vaikuttuvia asioita käsitellään työssä laajemmin kuin pelkästään ohjelmoinnin näkökulmasta.

Työn käytännön osuudessa perehdytään mallipohjaiseen etäohjelmointiin ja tarkastellaan sen mahdollisuuksia MIG/MAG-prosessilla hitsattavan kappaleen ohjelmoinnissa. Robotin etäohjelmointiohjelmistolla havainnollistetaan etäohjelmoinnin ja simuloinnin työnkulkua toimeksiantajan case-esimerkkikappaleella. Etäohjelmoinnista saatuja kokemuksia verrataan opettamalla ohjelmointiin ja pohditaan, onko robottien etäohjelmoinnista hyötyä työn toimeksiantajalle.

2 YRITYSESITTELY

Savonlinna Works Oy on ANDRITZ Oy:n omistama konepaja Savonlinnan Lypsyniemessä ja kuuluu ANDRITZ-konserniin, ks. kuva 1. Savonlinna Works Oy:n palveluksessa työskentelee n. 145 henkilöä. Konepajassa valmistetaan koneita ja laitteita sellu- ja paperiteollisuudelle maailmanlaajuisesti. Yhtiön päätuotteita ovat massanpesulaitteet, rumpu- ja kiekkosuotimet, keiton laitteet, painelaitteet ja lajittimet. (Savonlinna Works Oy 2018.)

Lisäksi yhtiö toimittaa asennus-, varaosa-, huolto-, ja seisokkipalveluita sekä laitteiden korjauksia ja modernisointeja. Konepajalla on käytössä sertifioitu laatujärjestelmä ISO 9001:2008, 3834-2:2005 ja sertifioitu työterveys- ja turvallisuusjärjestelmä OHSAS 18001. (Savonlinna Works Oy 2018.)

Lypsyniemeen konepaja perustettiin vuonna 1917, jolloin yrityksen nimenä oli Konetehdas osakeyhtiö. Vuonna 1922 Ab W.Gutzeit & Co osti konepajan ja nimeksi tuli Oy Lypsyniemen konepaja. Konepajan nimi muuttui Enso-Konepajaksi, sen sulautuessa Enso-Gutzeit Oy -pääyhtiöön vuonna 1948. Ahlström Oy tuli konepajan omistajaksi vuonna 1987. Ahlström myi paperi- ja selluteollisuuden liiketoiminnot ja konepaja siirtyi ANDRITZ-konsernin omistukseen vuonna 2001. Konepaja yhtiötettiin ANDRITZ Oy:stä Savonlinna Works Oy:ksi vuonna 2004. (Savonlinna Works Oy 2018.)



KUVA 1. Etualalla Savonlinna Works Oy:n konepaja.

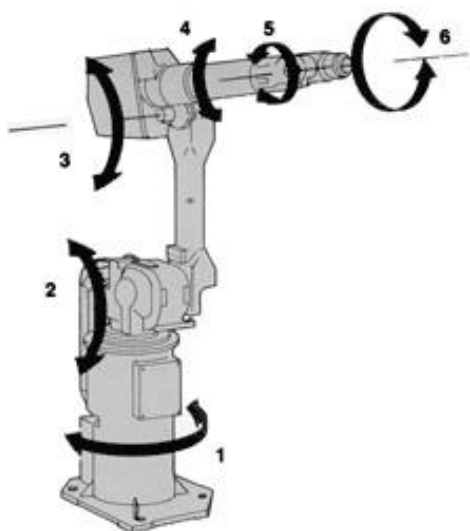
3 TEOLLISUUSROBOTIT HITSAUSTUOTANNOSSA

Standardi SFS-EN ISO 10218-1 määrittelee teollisuusrobotiksi teollisuuden automaatio-sovelluksissa käytettävän automaattisesti ohjatun ja uudelleen ohjelmoitavissa olevan monikäyttöisen käsittelylaitteen, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa. Robotti voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva. Teollisuusrobottiin kuuluvat toimilaitteet, ohjauslaite käsiohjaimineen sekä tiedonsiirron rajapinnat. (Robotit ja robotiikkalaitteet 2011, 12.)

Teollisuusrobotti on mekaaninen kone, joka liikuttaa työkalun kiinnityslaippaa halutulla tavalla. Robottia voidaan käyttää muun muassa kappaleiden, osien ja työkalujen liikuttamiseen uudelleen ohjelmoitavien liikkein eri tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa. (Kuivanen 1999, 13.)

3.1 Kiertyvänivelinen teollisuusrobotti

Kiertyvänivelinen teollisuusrobotti on teollisuuden eri aloilla paljon käytetty robottityyppi, jossa on yleisesti kuusi vapausastetta, joista vähintään kolme on kiertyviä, ks. kuva 2. Tämä mahdollistaa työkalun asemoinnin mihin tahansa asentoon ja paikkaan robotin työalueella, jonka rajoittavat nivelten mekaaniset liikealueet ja robotille sallittava työalue. Robotin kinemaattinen rakenne, jossa tukivarret ovat kytketty peräkkäin, mahdollistaa robotille laajan ulottuvuuden, mutta haittoina ovat omaan painoonsa nähden pieni kuormankantokyky sekä mekaniikan ja ohjauksen korkea hinta. (Kuivanen 1999, 16, 18.)



KUVA 2. Kiertyvänivelinen 6-akselinen teollisuusrobotti (RobotWorx 2018).

3.2 Turvallisuus

Teollisuusrobotit kuuluvat EU:n asettaman konedirektiivin (2006/42/EY) piiriin, jonka tavoitteina on taata koneiden vapaa liikkuvuus sisämarkkinoilla sekä varmistaa terveyden ja turvallisuuden korkea taso. Koneiden suunnittelun ja rakentamisen lainsäädännön yhtenäistäminen on taloudellisesti erittäin tärkeää Euroopan konepajateollisuudelle ja parantaa koneturvallisuutta vähentäen tapaturmia.

Turvallisuusmääräykset koskevat keskeisesti konetta, joten tuotantoautomaation kannalta on oleellista, että koneeksi lasketaan myös koneyhdistelmä. Robottijärjestelmä on siis yksi kone, joka turvallisetaan yhtenä kokonaisuutena. (Konedirektiivin 2006/42/EY soveltamisopas 2010, 14, 16; Malm 2008, 13.)

Koneen valmistajan velvollisuuksiin kuuluu laatia vaatimustenmukaisuusvakuutus, jonka avulla valmistaja osoittaa koneen täyttävän kaikki sitä koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Vakuutuksen allekirjoituksen jälkeen koneeseen voidaan tehdä CE-merkintä. Vaaratekijöiden arvionnissa ja niiden poistamisessa otetaan huomioon koneasetuksen (400/2008) olennaiset turvallisuusvaatimukset ja niihin liittyvät standardit, kuten SFS-EN ISO 12100:n sekä konekohtaiset standardit. Vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa tulee selvittää koneen suunnittelussa käytetyt standardit. (Kui vanen 1999, 162.)

Koneen käyttäjän on sidoututtava noudattamaan koneen käyttöohjeita, sillä teollisuusrobotti voi aiheuttaa käyttäjälleen seuraavia vaaratekijöitä, kuten (Työterveyslaitos 2009, 1):

- voimansiirron liikkuvat ja suojaamattomat osat: puristumiset ja takertumiset
- viilto-, leikkautumis- tai pistohaavat esim. osien kiinnityksessä tai muussa käsittelyssä
- sinkoutuvat osat: lastut, työstettävän kappaleen tai työkalun irtoaminen, törmäys ja särkyminen
- koneen/laitteen odottamaton käynnistyminen
- huonosti määritellyt tai suunnitellut turvallisuusvyöhykkeet
- ongelmat käsinkäytön aikana turvalaitteiden ollessa tilapäisesti pois käytöstä
- ohjelmistojen ja tiedonsiirron virheet.

Robotteja voidaan hyödyntää eri tehtäviin teollisuuden tuotantolaitoksissa ja tehtaissa toimimaan ihmisten apuvälineenä joko siten, että teollisuusrobotti ja ihminen ovat erotettu toisistaan turvajärjestelmillä tai yhteistyörobotti työskentelee ihmisen kanssa samassa työpisteessä. Ihmisen ja robotin välinen yhteistyö tarjoaa tehokkaan ja mukautumiskykyisen valmistuksen sarjojen pienentyessä, tuotevarianttien lisääntyessä ja tuotteen elinkaaren lyhentyessä. Työskentelyalueiden osittaisen yhdistymisen mahdollistaa nykyaikainen turvallisuustekniikka. (Malm 2008, 2.)

Teollisuusrobottien turvajärjestelmien tason määrittelee minkälaisessa yhteistyössä robotti ja ihminen työskentelevät. Robotin aseman määrittäminen nykyaikaisissa robottisovelluksissa perustuu robotin toimintoja tarkkaileviin turvakontrollereihin ja ohjelmistoihin. Robotin ja ihmisen yhteistyön määrä sekä turvallisuustaso voidaan jakaa eri kategorioihin.

Ei yhteistyötä - erotettu järjestelmä

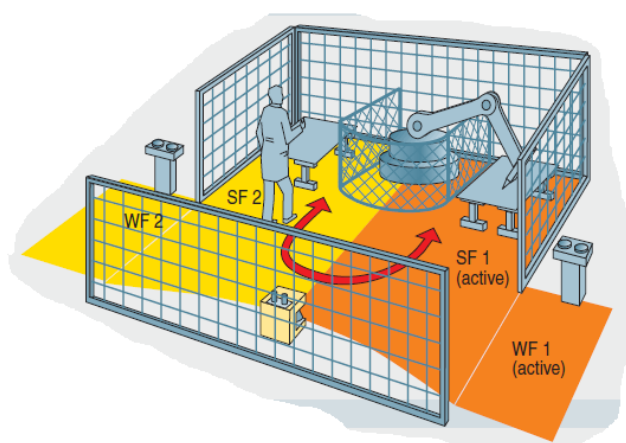
Erotetussa turvajärjestelmässä ihminen ja robotti ovat erotettu toisistaan robotin työkierron aikana. Robottisolu on yleensä aidattu ja ihminen voi käynnistää robotin työkierron kuittaamalla turvapiirin suljetuksi solun ulkopuolelta, jolla varmistetaan turvallisuus, ks. kuva 3. Käsiohjaimen sallintalaitteen avulla robotin hidas liike ($< 250 \text{ mm/s}$) on sallittu ihmisen ollessa robotin työalueella. (Salmi, Väättäinen, Malm ja Mastio 2014, 7, 10.)



KUVA 3. Robotin työalue on erotettu aidoilla (Robotics 2018).

Rajoitettu yhteistyö – turva-ohjaimet

Ihmisen ja robotin rajoitettu yhteistyö on mahdollista toteuttaa turvaohjaimilla. Turvaohjaimilla saadaan pienennettyä turvaetäisyyksiä suhteessa robottiin, joten ihminen voi tietyin varauksin työskennellä robottisolun sisäpuolella robotin työkierron aikana, ks. kuva 4. Sovelluksesta riippuen esimerkiksi robotti voi jatkaa työkiertoa automaattisesti ihmisen poistuttua työalueelta tai olla tulematta tietylle alueelle ihmisen ollessa siellä tai liikkua siellä turvanopeudella. Robotti pysähtyy, jos ihminen tulee liian lähelle robottia. (Malm 2017, 13.)



KUVA 4. Turvalaserskanneri tarkkailee ihmisen ja robotin liikkeitä (Siemens 2018).

Täydellinen yhteistyö – vaaraton robotti

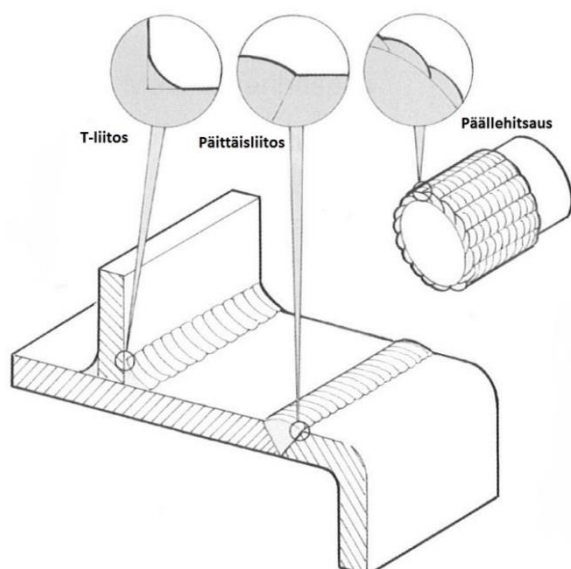
Ihmisen ja robotin täydellinen yhteistyö on mahdollista käyttämällä yhteistyörobotteja, jotka ovat toteutettu ihmiselle vaarattomina, ks. kuva 5. Robotin vaarattomuus on toteutettu muun muassa käyttämällä useita antureita sekä rajoittamalla voimaa ja nopeutta. Robotti voi työskennellä samalla linjalla yhteistyössä ihmisten kanssa, jotka voivat ohjelmoida robottia uudelleen taluttamalla. Yhdistämällä robotin ja ihmisen työskentelyalueet saadaan molempien parhaat puolet hyödynnettyä. Liiketoiston tarkkuudessa ja kappaleiden käsittelyssä robotti korvaa ihmisen puutteita, kun taas ihminen korvaa robotin heikkoa joustavuutta ja sopeutumista muutoksiin tai vaihteluihin. (Salmi, ym. 2014, 15-19; Malm 2008, 2.)



KUVA 5. Yhteistyörobotti kokoonpanon apuna (Robotiq 2018a).

3.3 Hitsaus

Hitsaus on valmistusmenetelmä, jolla kappaleita liitetään toisiinsa tai kappaleita pinnoitetaan päällehitsaamalla käyttämällä lämpöä ja/tai puristusta. Perusaineen sulaan liitospintaan tai -pintoihin voidaan tuoda lisäainetta, jonka sulamispiste on suunnilleen sama kuin perusaineella. Kappaleet ja sulaa tuotu lisäaine muodostavat jäähtyttyään kiinteän liitoksen. Kuvassa 6 esitetään sulaneen lisäaineen ja perusaineen muodostamia kiinteitä liitoksia. (Hitsaussanasto, yleistermit 1995, 2; Lepola ja Ylikangas 2016, 13.)

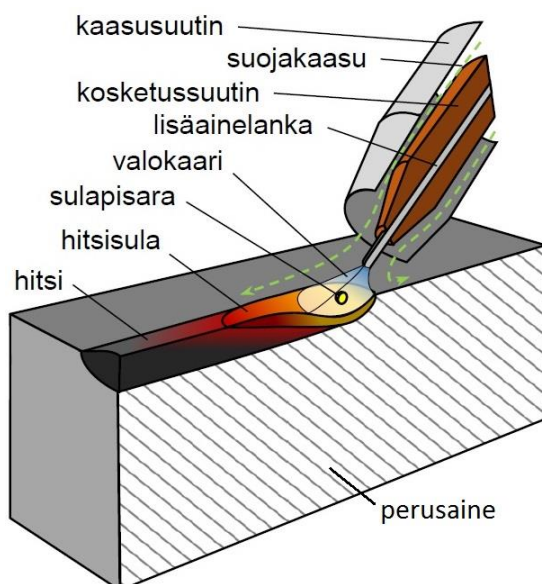


KUVA 6. Esimerkkejä erilaisista hitsausliitoksista (Lepola ja Ylikangas 2016, 13).

Hitsausprosessit jaetaan kahteen eri pääryhmään: sulahitsaukseen ja puristushitsaukseen. Sulahitsauksessa hitsattavat liitospinnat kuumennetaan sulaksi, joihin lisäksi voidaan tuoda lisäainetta ja pinnat sulavat yhteen ilman puristusta. Puristushitsauksessa ei käytetä lisäainetta yhteen liittämiseen, vaan liitoskohtien pinnat kuumennetaan tahdaslaiseen lämpötilaan ja puristetaan määrättyllä voimalla niitä yhteen, jolloin syntyy kiinteä liitos. (Lepola ja Ylikangas 2016, 14.)

MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsauksella tarkoitetaan metallikaasukaarihitsausta, joka on puoliautomaattinen hitsausprosessi. Langansyöttölaitteisto syöttää automaattisesti lisäainelankaa säädetyllä nopeudella suoja-kaasulla suojattuun hitsauskohtaan, missä perusaineen ja lisäainelangan kärjen välissä palava valo-kaari sulattaa perus- ja lisäainetta muodostaen hitsisulan, ks. kuva 7. (Lepola ja Ylikangas 2016, 71.)



KUVA 7. MIG/MAG-hitsauksen periaate (Ionix 2018).

MIG- ja MAG-hitsauksen erona on hitsaustapahtumassa käytettävä suojakaasu, jonka tehtävänä on esimerkiksi suojata hitsisulaa, lisäainelangan päätä ja sulia lisäainepisaroita ilman hapelta ja typeltä. MIG-hitsauksessa (Metal-arc Inert Gas) käytössä on inertti eli passiivinen suojakaasu, joka ei reagoi hitsisulan aineiden kanssa. Passiivisina suojakaasuina käytetään jalokaasuja, argon (Ar) ja heliumia (He) tai näiden kaasuseoksia. MIG-hitsausta käytetään ei-rautametallien, kuten alumiinin, titaatin ja kuparin hitsaamiseen. MAG-hitsauksessa (Metal-arc Active Gas) aktiivinen suojakaasu reagoi hitsisulan aineiden kanssa. Aktiivisina suojakaasuina käytetään hiilidioksidia (CO₂) ja tämän kaasuseosta argonin kanssa tai hapen (O₂) argonin kaasuseosta. (Kuusisto 2014, 11; Lepola ja Ylikangas 2016, 71.)

MIG/MAG-hitsauksen etuja (Kuusisto 2014, 5):

- suoritustekniikan oppimisen helppous
- helppo automatisoida ja mekanisoida
- korkea kaariaikasuhte
- laajakäyttöalue ohutlevyjen hitsaamisesta ylöspäin.

Yllä mainittujen etujen vuoksi kyseinen hitsausprosessi on laajasti käytössä niin käsinhitsauksessa kuin hitsauksen mekanisointi- ja automaatiosovelluksissa.

3.4 Robottihitsaus

Robottihitsausta suunniteltaessa usein ensisijaisena tavoitteena on työn tuottavuuden parantaminen. Muita tavoitteita voivat olla esimerkiksi tuotantokapasiteetin kasvattaminen, hitsauksen tasaisempi ja parempi laatu tai helpotuksen hakeminen hitsaajapulaan. Hitsaustyö on fyysisesti rasittavaa, joten käsinhitsauksen väheneminen parantaa työergonomiaa ja työturvallisuutta. (Hiltunen 2005, 2.) Robotin liiketarkkuus ja kuormankantokyky mahdollistavat muun muassa laser-, FSW-, elektro-nisuihku- ja laserhybridihitsausprosessin käytön, joita ei ole mahdollista käyttää käsinhitsauksessa.

Robottihitsaukseen soveltuvat ne hitsausprosessit, jotka ovat helposti robotisoitavissa kuten:

- MIG/MAG-hitsaus
- TIG-hitsaus
- plasmahitsaus
- laserhitsaus
- elektronisuihkuhitsaus
- jauhekaarihitsaus
- pistehitsaus.

3.4.1 Robottihitsauksen asettamia vaatimuksia

Robottihitsaus asettaa hitsattaville kappaleille suuremmat mitta- ja muototarkkuusvaatimukset kuin käsinhitsaus. Kappaleen suunnittelussa vaikutetaan sen hitsattavuuteen ja ottamalla huomioon robottihitsauksen vaatimukset muun muassa luoksepäästävyys hitsauskohtaan, soveltuvat liitos- ja railomuodot sekä hitsausmenetelmät, saadaan hyvät edellytykset kappaleen robotisoituun hitsaukseen. (Hiltunen ja Purhonen 2008, 34.)

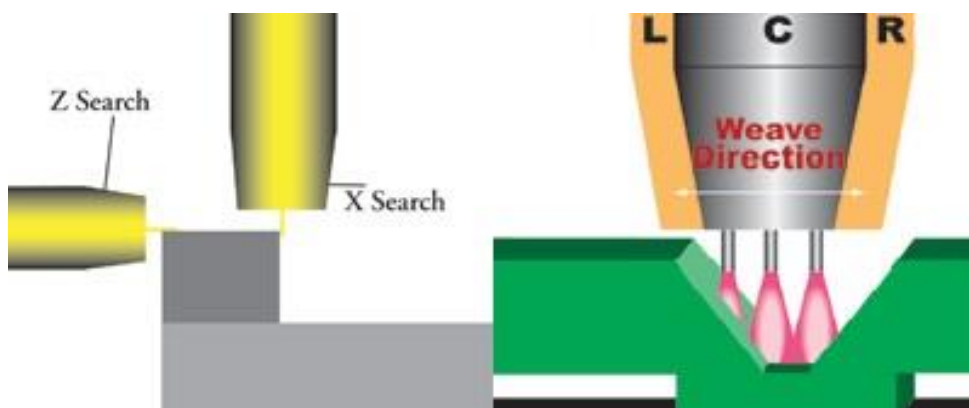
Tuotannossa tulee huomioida robottihitsauksen asettamat vaatimukset osavalmistuksesta lähtien mitta- ja muotovaihteluiden minimoimiseksi, jotka voivat olla käytetystä levy- tai leikkausmenetelmästä riippuen useita millimetrejä. Osien silloituksessa pitää ottaa huomioon robottihitsauksen mitatarkkuusvaatimukset, jotka ovat huomattavasti tiukemmat kuin yleistoleranssin sallitut rajat. Silloituksen aikana tulleet mahdolliset virheet osien sovituksessa vaikuttavat heikentävästi robottihitsauksen laatuun. (Lempiäinen ja Savolainen 2003, 84-91.)

Robotilla hitsattava kappale vaatii yleensä hitsauskiinnittimen, jonka avulla kappale saadaan kiinnitettyä kappaleenkäsittelylaitteeseen. Hitsauskiinnittimen tarkoituksena on varmistaa, että hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset kappaleessa pysyvät mahdollisimman pieninä ja kappale täyttää asetetut mitta- ja muotovaatimukset sekä mahdollistaa robotille hyvä hitsausasento. Robottihitsauksessa on tärkeää, että kappale asemoituu hitsauskiinnittimeen joka kerta samaan paikkaan ja orientaatioon. Työturvallisuuden kannalta hitsauskiinnittimen tulee olla ergonominen käyttää. Kappaleen irrotus toteutettava siten, että kappale saadaan turvallisesti ja hallitusti irti hitsauskiinnittimestä.

3.4.2 Railonhaku ja railonseuranta

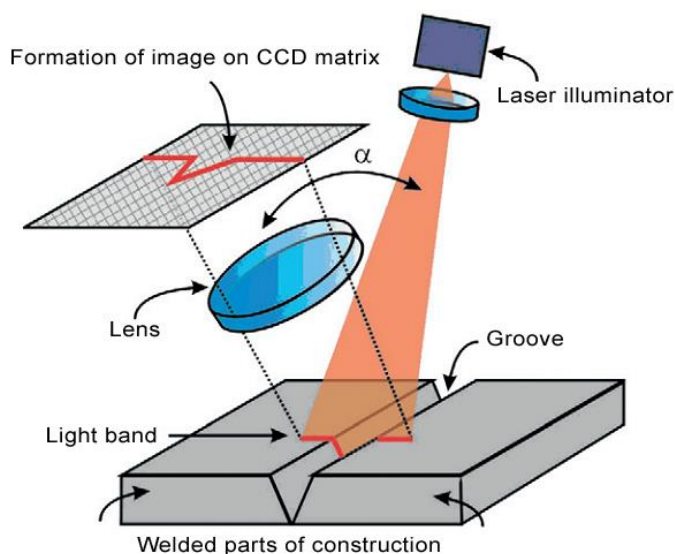
Railonhakua ja railonseurantaan tarvitaan, kun robottihitsattava kappale tai sen paikoitus ei täytä asetettuja vaatimuksia. Epätarkkuudet voivat johtua muun muassa kappaleen valmistusprosessista, paikoitusvirheistä ja hitsauksen aiheuttamista muodonmuutoksista. Näiden hallitsemista varten on kehitetty eri menetelmiä hakea hitsausrailo ja seurata sitä hitsauksen aikana.

Sähköiseen kontaktiin perustuvassa railonhaussa hitsattavan kappaleen railon haku tapahtuu käyttäen lisäainelankaa tai kaasusuutinta. Kappaleen pintaan opetetaan robotille hakupiste tai -pisteet, riippuen railon ja kappaleen muodosta. Robotti käyttää opetettujen hakupisteiden paikkatietoja referenssinä railonhausta saaduille paikkatiedoille ja niiden erotuksesta lasketaan railon sijainti. Mikäli railon sijainti on muuttunut opetetusta, niin robotti siirtää liikeratojaan muuttuneen sijainnin mukaisesti. Kyseisen railonhakumenetelmän kanssa käytetään hitsausvirran mittaamiseen perustuvaa railonseurantamenetelmää, jossa robotti tekee vaaputusliikettä ja näin järjestelmä havaitsee railon kyljillä tapahtuvat hitsausvirran muutokset, ks. kuva 8. Järjestelmä pyrkii pitämään asetetun seuranta-
virran ja tarvittaessa robotti tekee korjausliikkeitä hitsauksen aikana, jotta hitsi pysyy railossa.



KUVA 8. Railonhaku lisäainelangalla ja hitsausvirran mittaamiseen perustuva railonseuranta (Lincoln Electric 2018).

Optinen railonhaku- ja seurantajärjestelmä perustuu valoon ja sen mittaamiseen. Valonlähteenä käytetään laseria, joka projisoidaan hitsauspään eteen valojuovaksi. Valojuovaa kuvataan viistosta suunnasta, jolloin valojuovasta pystytään määrittämään railon muoto ja sijainti, ks. kuva 9. Järjestelmään tarvitaan lisäksi ohjausyksikkö sekä kuvanprosessoinnin ja laitteiston ohjauksen mahdollistava ohjelmisto. Optinen anturi asetetaan sopivan matkan päähän lisäainelangasta ja kalibroidaan. Tällöin ohjelmisto osaa laskea oikein railon muodon ja paikan muutokset. (Jääskeläinen 2017, 4.)



KUVA 9. Optisen railonseurannan periaate (Rovicor 2018).

4 ROBOTIN OHJELMOINTI

Robotin ohjelmointiin on useita eri tapoja ja ne jaetaan kahteen pääryhmään: online-ohjelmointiin ja offline-ohjelmointiin, ks. taulukko 1. Online-ohjelmointi eli lähiohjelmointi tapahtuu paikan päällä robottisolussa, jolloin robotti on ohjelmoinnin ajan pois tuotantokäytöstä. Offline-ohjelmointi tai etä-ohjelmointi tarkoittaa robotin ohjelmointia tietokoneella tuotannon ulkopuolella, jolloin robottia voidaan ohjelmoida uusien kappaleiden hitsaukseen keskeyttämättä robotin tuotantoa.

TAULUKKO 1. Robotin ohjelmointitapoja.

Online-ohjelmointi	Offline-ohjelmointi
Opettamalla ohjelmointi	Mallipohjainen ohjelmointi
Taluttamalla ohjelmointi	Tekstipohjainen ohjelmointi
Konenäköpohjainen ohjelmointi	
Parametrinen ohjelmointi	

4.1 Opettamalla ohjelmointi

Operaattori ohjelmoi robottia opettamalla robotille paikkapisteet ja ajamalla sen haluttuun asemaan käyttämällä käsiohjaimen liikekäskyäppäimiä tai joystickia. Robotin paikkatieto tallennetaan ohjelmaan, johon operaattori voi myös lisätä muita käskyjä. Ohjelman testiajo tehdään turvanopeudella ja operaattori tarkastaa ohjelman toimivuuden mahdollisten ohjelmointivirheiden sekä törmäysten varalta. Opettamalla ohjelmointi on yleisempiä tapoja ohjelmoida robotti, sillä se on vakio-ominaisuutena robotin ohjauksessa. Opettamalla ohjelmoinnin vahvuuksia ja heikkouksia on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Opettamalla ohjelmoinnin vahvuudet ja heikkoudet.

Vahvuudet	Heikkoudet
<ul style="list-style-type: none"> Ominaisuus robotin ohjauksessa – ei vaadi lisäinvestointeja. Ohjelman toimivuus on helppo todeta testiajolla paikan päällä. Ohjelmoinnin työnkulku on selkeä ja yksinkertainen. 	<ul style="list-style-type: none"> Ohjelmointi on hidasta monimuotoisissa kappaleissa. Ohjelmakoodin hallitseminen monimutkaisessa ohjelmassa. Robotti ja työkappale tarvitaan ohjelman tekemisessä, jolloin robotti ei ole tuotantokäytössä.

4.2 Taluttamalla ohjelmointi

Operaattori opettaa robotille paikkapisteet taluttamalla sen ”kädestä pitäen” haluttuun asemaan, ks. kuva 10. Käsiohjaimella tallennetaan pisteet ja käskyt ohjelmaan. Työnkulku on muuten samankaltainen kuin opettamalla ohjelmoinnissa - operaattori ohjelmoi robotin opettamalla sille halutut paikkapisteet ja käskyt. Ennen taluttamista valitaan haluttu liiketyyppi, joka määrittää samalla robotin sallitut vapausasteet, jolloin robotti on helpommin ohjattavissa ja saadaan tarkemmin haluttuun asemaan. Valmiin ohjelman testiajossa tarkastetaan ohjelma mahdollisten ohjelmointivirheiden ja törmäysten varalta. Taluttamalla ohjelmoinnin vahvuuksia ja heikkouksia on esitetty taulukossa 3.

Robotin taluttamalla ohjelmoinnin ”kädestä pitäen” on mahdollistanut voimaan reagoivien anturien ja turvasensorien kehittyminen. Työkalulaippaan kiinnitettävän voima-anturin avulla robotti pystyy tunnistamaan ihmisen siihen kohdistamat voimat, jolloin robotti liikkuu voiman suuntaan. (Malm 2008, liite C1.)



KUVA 10. Robotin ohjelmointi taluttamalla (Robotiq 2018b).

TAULUKKO 3. Taluttamalla ohjelmoinnin vahvuudet ja heikkoudet.

Vahvuudet	Heikkoudet
<ul style="list-style-type: none"> Ohjelmointitapa on helppo omaksua yhdistettynä ikonipohjaiseen ohjelmointikäyttöliittymään. Operaattori pystyy käyttämään robottia hyvin vähäisellä kokemuksella. 	<ul style="list-style-type: none"> Voimaohjauksen tarkkuus – robotti voi lähteä vaeltamaan. Robotti ja työkalupale tarvitaan ohjelman tekemisessä, jolloin robotti ei ole tuotantokäytössä.

4.3 Konenäköpohjainen ohjelmointi

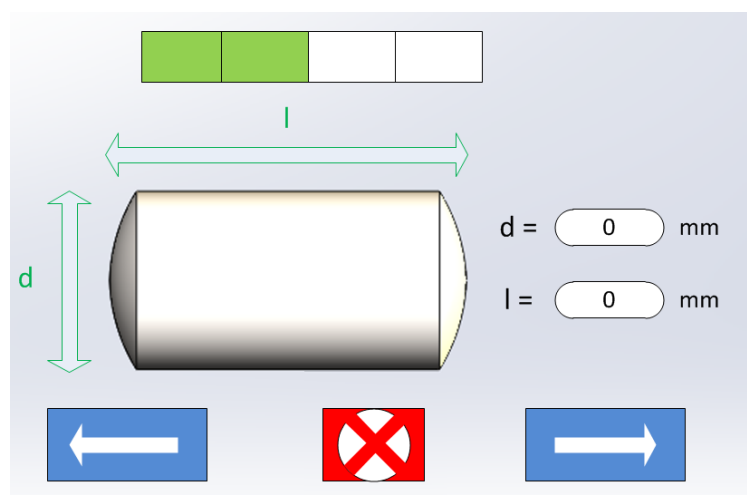
Konenäköpohjainen ohjelmointi perustuu kappaleen kuvaamiseen, jonka jälkeen ohjelma laskee ehdotukset hitsattaville kohteille. Operaattori hyväksyy/hylkää järjestelmän tekemän ehdotuksen ja/tai tekee siihen muutoksia sekä tarkastaa ehdotetut hitsausparametrit järjestelmän itsenäisyydestä riippuen. Konenäköjärjestelmä päätelee pisteiden paikat, joten ohjelmointi on huomattavasti nopeampaa kuin esimerkiksi opettamalla ohjelmoinnissa, jossa operaattorin täytyy opettaa robotille pisteet. Ohjelmointimenetelmä soveltuu parhaiten kaksiulotteisiin kappaleisiin ja käyttäjän pitää usein määrittää liikeradat ja hitsausparametrit käsin. Ennen robotin ohjelmointia on järjestelmään pitänyt luoda kohdeaihoita, tunnistettavia hitsauskohteita ja käytettävät hitsausparametrit. (Malm 2008, 96.) Konenäköpohjaisen ohjelmoinnin vahvuuksia ja heikkouksia on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Konenäköpohjaisen ohjelmoinnin vahvuudet ja heikkoudet.

Vahvuudet	Heikkoudet
<ul style="list-style-type: none"> Nopea ohjelmointi varsinkin monimuotoisissa kappaleissa. Tekniikan kehittyminen mahdollistaa entistä itsenäisemmät järjestelmät. 	<ul style="list-style-type: none"> Järjestelmän käyttöönoton hitaus ennen kuin päästään ohjelmoimaan. Robotti ja työkappale tarvitaan ohjelman tekemisessä, jolloin robotti ei ole tuotantokäytössä.

4.4 Parametrinen ohjelmointi

Parametrinen ohjelmointi mahdollistaa saman robottiohjelman käytön samanmuotoisissa kappaleissa, joissa on muuttuvia mittoja - esimerkiksi lieriömäisissä kappaleissa halkaisija ja pituus. Työnkulku voi mennä seuraavasti: robottiohjelmaan tehdään liikepisteet paikkamuuttujien tietoihin perustuen, joiden mukaan robotti muuttaa paikkaansa kappaleen mittojen mukaisesti. Kappaleen mitat asetetaan robotin käyttöliittymään, johon voi olla tehty esimerkiksi kuvan 11 kaltainen sovellus.



KUVA 11. Hahmotelma parametrisestä sovelluksesta säiliön hitsaukseen.

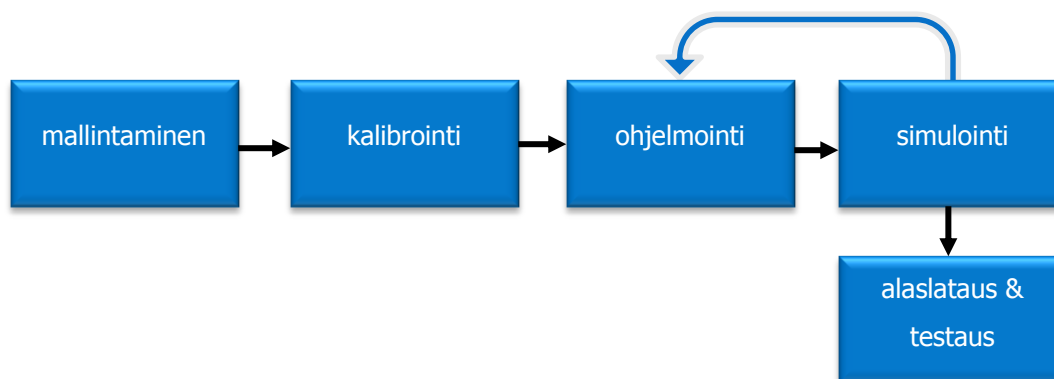
Mittaepätarkkuuksien vuoksi kappaleen tarkan paikan määrittämiseen tarvitaan railonhaku, jossa robotti hakee kappaleen ja railon sijainnin. Operaattorin ei tarvitse osata ohjelmoida robottia käyttäkseen parametrisesta ohjelmaa, joten robottia pystyy käyttämään hyvin vähäisellä kokemuksella. Parametrisen ohjelmoinnin vahvuuksia ja heikkouksia on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Parametrisen ohjelmoinnin vahvuudet ja heikkoudet.

Vahvuudet	Heikkoudet
<ul style="list-style-type: none"> Vähemmän ohjelmointia ja pisteiden muokkaamista. Vähemmän robottiohjelmia - selkeämpi robotin työlista. Operaattori pystyy käyttämään robotia hyvin vähäisellä kokemuksella. 	<ul style="list-style-type: none"> Parametrisen robottiohjelman tekemiseen tarvitaan hyvää ohjelmointikielen hallitsemista. Robotti ja työkappale tarvitaan ohjelman tekemisessä, jolloin robotti ei ole tuotantokäytössä.

4.5 Mallipohjainen ohjelmointi

Mallipohjainen ohjelmointi tapahtuu tietokoneella käyttäen etäohjelmointiohjelmistoa, joka on yhteensopiva tuotannon robottisolun kanssa. Ohjelmistoon luodaan työhön käytettävästä robottisolusta kolmiulotteinen virtuaalimalli, joka vastaa laitteiden, työkalun ja välineiden osalta sijoittelua todellisessa ympäristössä. Lisäksi virtuaalimalli kalibroidaan vastaamaan tuotannon robottisolua. Robotin hitsauspolun luonti tapahtuu valitsemalla polku kappaleen piirteiden mukaan, jolloin ohjelmisto luo polun automaattisesti asetettujen parametrien mukaan. Robottia ja sen ulkoisia akseleita pystytään liikuttamaan myös vapaasti. Simuloinnissa testataan muun muassa kappaleen hitsattavuus ulottuvuuden osalta sekä varmistetaan, ettei robotti törmää tai ylitä liikeratojaan. Mikäli simuloinnissa havaitaan virheitä, niin robottia ohjelmoidaan uudelleen virheiden poistamiseksi. Valmis ohjelma alasladataan robotille ja ohjelma testataan ennen käyttöönottoa. Kuviossa 1 esitetään mallipohjaisen ohjelmoinnin työnkulku. (Malm 2008, 98.)



KUVIO 1. Mallipohjaisen ohjelmoinnin työnkulku.

Robotin etäohjelmointiohjelmistoja on saatavilla robottivalmistajilta sekä ohjelmistovalmistajilta. Robottivalmistajan ohjelmistot ovat tarkoitettu vain valmistajan omille robottimalleille. Ohjelmistovalmistajat tekevät usein geneerisiä versiota, jotka tukevat yleisempiä robottimerkkejä. Ohjelmistot voivat tukea useita eri valmistusmenetelmiä, kuten hitsausta, leikkausta ja koneistusta.

Etäohjelmointiohjelmistoa pystytään käyttämään myös robottihitsaussolun suunnittelussa ja suunnittelu alkaa simulointimallin teosta. Malliin tuodaan hitsausrobotti sekä tarvittavat oheislaitteet ja työkappale kiinnittimineen. Järjestelmän toimivuutta hitsauksessa voidaan testata useilla eri laitevariaatiolla, jolloin löydetään parhaat ratkaisut, ennen kuin laitteita on hankittu. Simuloitua mallia voidaan hyödyntää muun muassa (Delfoi 2018):

- kappaleiden robottihitsattavuuden määrittämiseen
- robotin ulottuvuustarkasteluun ja layout-vaihtoehtojen testaukseen
- törmäystarkasteluun
- työkalu- ja kiinnitinvaihtoehtojen testaukseen ja työkalun luoksepäästävyystarkasteluun
- työkiertoajan laskentaan ja tahtiajan määrittämiseen.

Kalibroinnin tarkoituksena on simulointimallin muuttaminen todellisuutta vastaavaksi. Kalibrointia varten etäohjelmointiohjelmissa on yleensä oma kalibrointimoduuli. Mikäli kalibrointimahdollisuutta ei olisi, jouduttaisiin paikoitusvirheet korjaamaan opettamalla robotti piste pisteeltä uudelleen tuotannossa. Etäohjelmoinnin hyöty häviäisi, kun ohjelmoinnista aiheutuva tuotantokatko ei poistuisikaan. (Aalto 2009, 44.)

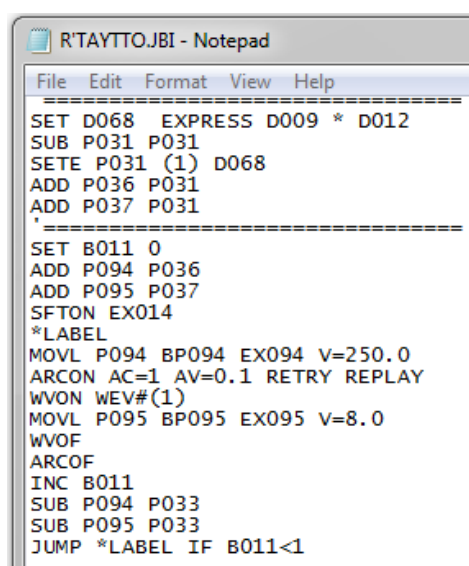
Mallipohjaiset etäohjelmointiohjelmit tarjoavat laajat työkalut robotin ohjelmointiin, simulointiin ja robottihitsaussolun suunnitteluun, jonka avulla löydetään parhaat laiteratkaisut. Työt tehdään tietokoneelta käsin, joten se ei keskeytä robotin tuotantoa. Mallipohjaisen ohjelmoinnin vahvuuksia ja heikkouksia on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Mallipohjaisen ohjelmoinnin vahvuudet ja heikkoudet.

Vahvuudet	Heikkoudet
<ul style="list-style-type: none"> • Ohjelmat luodaan keskeyttämättä robotin tuotantoa. • Monimutkaisten hitsausgeometrioiden luonti onnistuu vaivattomasti ja nopeasti. • Simuloinnin mahdollisuudet. 	<ul style="list-style-type: none"> • Virtuaalisolun ja todellisen solun väliset eroavaisuudet – kalibroinnin tärkeys. • Käyttöä hitaus – solun mallintaminen, kalibroinnit ja testaus.

4.6 Tekstipohjainen ohjelmointi

Tekstipohjainen ohjelmointi on yksinkertaisin ja edullisin etäohjelmointitapa, jossa robotin ohjelmaa kirjoitetaan ohjainkohtaisella ohjelmistolla tai kuten kuvassa 12 Windows Notepad-ohjelmalla. Tällä ohjelmointitavalla ei pysty kuitenkaan robotin sijaintia määrittämään luotettavasti suhteessa muuhun ympäristöön ja ohjelmointikielen hallitseminen kirjoitusvirheiden varalta on haastavaa. Tekstipohjainen etäohjelmointi soveltuukin lähinnä ohjelmarungon rakentamiseen, jossa käytetään pistepaikkatiedon sijasta paljon käskyjä. Tekstipohjaisen ohjelmoinnin vahvuuksia ja heikkouksia on esitetty taulukossa 7.



```

=====
SET D068 EXPRESS D009 * D012
SUB P031 P031
SETE P031 (1) D068
ADD P036 P031
ADD P037 P031
=====
SET B011 0
ADD P094 P036
ADD P095 P037
SFTON EX014
*LABEL
MOVL P094 BP094 EX094 V=250.0
ARCON AC=1 AV=0.1 RETRY REPLAY
WVON WEV#(1)
MOVL P095 BP095 EX095 V=8.0
WVOF
ARCOF
INC B011
SUB P094 P033
SUB P095 P033
JUMP *LABEL IF B011<1

```

KUVA 12. Robottiohjelman koodia Windows Notepad-ohjelmassa.

TAULUKKO 7. Tekstipohjaisen etäohjelmoinnin vahvuudet ja heikkoudet.

Vahvuudet	Heikkoudet
<ul style="list-style-type: none"> • Edullinen ja yksinkertainen – Notepad-ohjelmallakin pystyy tietyn varauksin kirjoittamaan koodia. • Ohjelmarungon kopiominen ja liittämisen toiseen robottityöhön. 	<ul style="list-style-type: none"> • Robotin sijainnin määrittäminen suhteessa muuhun ympäristöön. • Suppeat ominaisuudet ohjelman luomiseen. • Mahdolliset kirjoitusvirheet ohjelmoinnissa.

4.7 Virtuaalitodellisuus ohjelmoinnissa

Virtuaalitodellisuus (engl. Virtual Reality, lyh. VR) on keinotekoinen ympäristö, joka on luotu tietokoneella. Virtuaalitodellisuudessa voidaan simuloida todellista ympäristöä tai luoda täysin kuvitteellinen ympäristö. Visuaalisen vaikutelman lisäksi voidaan käyttää ääniä ja tuntoaistiin perustuvia muita aistiärsykeitä. (Realitytechnologies 2018b.)

Mahdollisimman syvän käyttökokemuksen virtuaalitodellisuudesta saadakseen käyttäjän tulee asettaa virtuaalilasit (VR-lasit) päähän silmiensä eteen, joka peittää käyttäjän näkökentän reaali maailmaan ja mahdollistaa virtuaalitodellisuuteen uppoutumisen, eli immersion, ks. kuva 13. Immersion lisäämiseen VR-lasien yhteydessä käytetään usein kuulokkeita sekä liikeohjaimia, jotka mahdollistavat liikkumisen virtuaali maailmassa. (Realitytechnologies 2018b.)



KUVA 13. Robotin opettamista hyödyntäen VR-laitteistoa (Wired 2018).

Käyttämällä VR-laitteistoa, kuten kuvassa 13, käyttäjä pystyy tarvittaessa etänä ohjaamaan ja opettamaan robottia. VR-laitteiston käyttäminen luo intuitivisemman tavan ohjelmoida robottia, kun käyttäjä omilla liikkeillä ohjaa robottia. Laitteistot mahdollistavat käyttäjän todentuntuisen liikkumisen virtuaalisessa ympäristössä, joka tuo käyttäjälle uusia ulottuvuuksia robottien ohjelmointiin ja simulointiin.

Virtuaalitodellisuutta hyödynnetään etäohjelmointiohjelmistoissa, joissa simuloidaan reaali maailman robottisolua virtuaalisessa ympäristössä. Tietokoneen näytön sijasta VR-laitteistoa hyödyntämällä käyttäjä voi liikkua virtuaalisessa robottisolussa ja samalla muun muassa ohjelmoida robottia. Simulaatiossa käyttäjä voi katsella kaikista näkökulmista robotin työkiertoa ja tarkastaa näin ohjelman toimivuus. (Robots 2018.)

4.8 Lisätty todellisuus ohjelmoinnissa

Lisätty todellisuus (engl. Augmented Reality, lyh. AR) on tehostettu näkymä todellisuudesta, jossa reaali maailman näkymään lisätään tietokoneella tuotettuja elementtejä, kuten grafiikkaa tai ääntä. Käyttäjä tarkastelee näkymää ”läpikatseltavien” näyttöjen kautta, joissa näytön takana sijaitseva kamera kuvaa reaali maailmaa. Näytöt voivat olla myös heijastusnäyttöjä, jotka usein ovat päälle puettavissa älylasien muodossa, jolloin kokemuksesta saadaan syvempi. Lisäämällä reaali maailmaan virtuaalikohteita, lisätty todellisuus tehostaa havainnointikykyä ja tilannetietoisuutta antamalla käyttäjille mahdollisuuden tarkastella tehostettua näkymää tuotantoympäristössä. Lisättyä todellisuutta on sovellettu useassa valmistuksen osa-alueilla ja ihminen-robotti-yhteistyössä, ks. kuva 14. (Realitytechnologies 2018a; Ni, Yew, Ong & Nee 2017, 192.)



KUVA 14. Robotin ohjaamista käyttäen liiketunnistusta ja AR-tekniologiaa (Universal Robots 2018).

Lisättyä todellisuutta voidaan käyttää robottien etäohjelmointitapaan, jossa robottia ohjelmoidaan intuitiivisella käyttöliittymällä hyödyntäen haptista palautetta. Haptisen palautteen laite mahdollistaa käyttäjän määrittämään hitsausradat työkappaleen pintojen mukaan, jotka järjestelmä on jälleenrakentanut syvyyskameran kuvasta. Lisätyn todellisuuden käyttöliittymä on kehitetty, jotta operaattori voi nähdä hitsauspolttimen ja määrittää sen aseman. Ohjelmointi voidaan suorittaa ilman työkappaleen 3D-mallia, kun taas perinteisessä mallipohjaisessa etäohjelmoinnissa tarvitaan 3D-mallit virtuaalisolua varten. Tämä kokeellinen ohjelmointitapa kehitettiin, koska operaattori ei pysty etänä todentamaan hitsauspolttimen asentoa ja tarvitsee näin turvautua videokuvaan sekä muuhun informaatioon määrittääkseen hitsausradat, jotka lähetetään etäyhteyden välityksellä. (Ni, ym. 2017, 191.)

Lisättyä todellisuutta hyödyntämällä robotin ohjelmoinnissa saavutetaan samoja hyötyjä, kuin etäohjelmoinnissa, kuten robotin ohjelmointi etänä ilman fyysistä robottia. Lisäämällä virtuaalirobotti reaali- ja maailman työpisteeseen voidaan poistaa teknisiä ongelmia, jotka liittyvät kalibrointiongelmiin virtuaali- ja reaali- ja maailman välillä. (Pan, Polden, Larkin, Van Duin ja Norrish 2012, 92.)

Lisätyn todellisuuden käyttö robottien ohjelmoinnissa on tällä hetkellä olevan kokeellisella tasolla, eikä valmiita kaupallisia sovelluksia ole markkinoilla. Teknologiaa hyödynnetään demonstraatioissa, joissa virtuaalirobotti tuodaan todelliseen ympäristöön ja näin robotin toimintoja voidaan simuloida todellisessa ympäristössä. Teknologian kehittyessä lisätyn todellisuuden sovelluksia saadaan enemmän robottien ohjelmointiin ja ne mahdollistavat uusia tapoja ohjelmoida robotteja.

5 TUOTTAVUUS ROBOTTIHITSAUKSESSA

Tuottavuus määritellään tuotosten määrän suhteena panosten määrään. Yksinkertaistettuna tuottavuus on tuotosten määrä jaettuna panosten määrällä. Panokset ovat tuotantoresursseja, jotka muuttuvat valmistavassa yrityksessä tuotteiksi, joita puolestaan kutsutaan tuotoksiksi. Robottihitsauksessa tuottavuuden mittoina voidaan pitää muun muassa valmistuneiden kappaleiden määrää tai hitsimetrien määrä vuorokaudessa. (Stenbacka 2009, 21.)

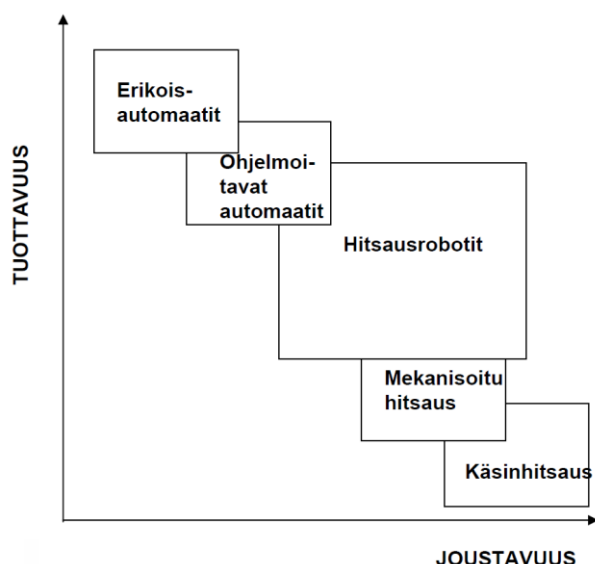
Hitsauksen tuottavuuden parantamiseksi on monia keinoja ja oleellista on koko prosessiketjun tehostaminen vähentämällä turhaa työtä sekä lyhentämällä työhön kuluva aikaa. Hitsausaikaa voidaan lyhentää pienentämällä kaariaikaa ja nostamalla paloaikasuhdetta. Tuottavuutta pystytään parantamaan käyttämällä tehokkaampia ja suuremman sulatustehon hitsausprosesseja sekä optimoimalla hitsirailot käytetyille prosesseille. Paloaikasuhte paranee siirtämällä roboteille ja mekanisointilaitteille soveltuvia hitsaustöitä. (Meuronen 2011, 11-12.)

TAULUKKO 8. Tavallisimpien hitsausprosessien paloaikasuhteet ja hyötyluvut (Stenbacka 2009, 72).

Prosessi	Paloaikasuhte %	Hyötyluku %
Puikkohitsaus	20	60
MIG/MAG	22–25 Käsini	95
umpilankahitsaus	40–90 Mekanisoitu	95
MIG/MAG	22–25 Käsini	85 jauhetäytelanka
täytelankahitsaus	40–90 Mekanisoitu	95 metallitäytelanka
Jauhekaarihitsaus	40–80	98

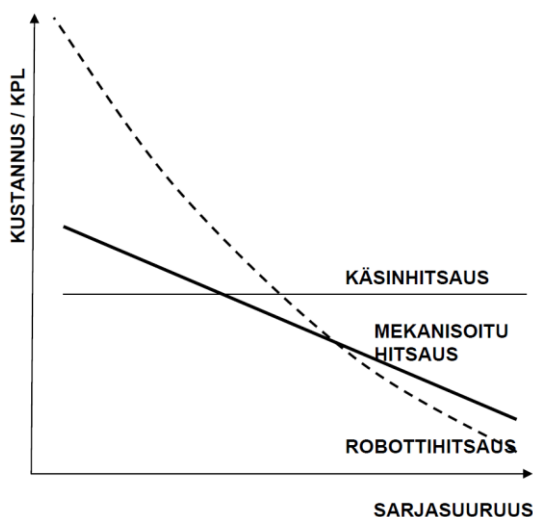
Taulukosta 8 nähdään, että tyypillisesti käsinhitsauksessa noin 20 % käytettävissä olevasta työajasta hitsataan. MIG/MAG-hitsauksen mekanisoitu langansyöttö on parantaa paloaikasuhdetta verrattuna esimerkiksi puikkohitsaukseen, jossa lisäainepuikko vaihdetaan käsin. Hyötyluku kertoo kuinka suuri osa kulutetusta lisäainemäärästä muodostaa hyödyllistä hitsiainetta. Jauhetäytelangalla hitsatessa hitsin pinnalle syntyy kuonaa, joten hyötyluku on pienempi kuin metallitäytelangalla ja umpilangalla hitsatessa. (Stenbacka 2009, 69–72.)

Tuottavuuden kasvua haettaessa tulee muistaa, että samalla tuotannon joustavuus heikkenee, mikäli investoidaan hitsausjärjestelmään, joka on tarkoitettu tekemään yhtä työvaihetta mahdollisimman tuottavasti. Käsinhitsauksessa tuottavuus on pienintä, mutta samalla se on joustavin hitsauksen taso. Erikoisautomaattien ja käsinhitsauksen välimaastoon jäävät muun muassa robottihitsaus ja mekanisoihitsaus, ks. kuvio 2. (Hiltunen 2005, 3.)



KUVIO 2. Mekanisointitaso/tuottavuus (Hiltunen 2005, 3).

Robottihitsauksen tuottavuus on parhaimmillaan keskisuurista sarjoista ylöspäin, jolloin pystytään minimoimaan uuden työn aloittamiseen käytetty asetus aika, ks. kuvio 3. Konepajoissa sarjakoot ovat kuitenkin pienentyneet, minkä seurauksena hitsausroboteilta vaaditaan enemmän joustavuutta tuotannossa. Pienten sarjojen kohdalla robottihitsauksen kannattavuutta ovat lisänneet asetus aikojen lyhentäminen muun muassa etäohjelmoinnilla sekä sarjan säännöllisellä toistuvuudella tuotannossa. (Hiltunen 2005, 3; Stenbacka 2009, 21.)



KUVIO 3. Sarjakoone vaikutukset kustannuksiin eri mekanisointitasoilla (Hiltunen 2005, 3).

5.1 Robottihitsaus vs. käsinhitsaus

Käsihitsauksesta siirryttäessä robotisoituun hitsaukseen on otettava huomioon investointien lisäksi kappaleiden soveltuvuus ja niiden optimointi robottihitsaukseen. Käsinhitsauksessa taitava hitsaaja tarkkailee jatkuvasti hitsaustapahtumaa ja tekee korjaavia toimenpiteitä hitsauksen aikana, kun taas robotti tarvitsee älyä muun muassa adaptiivisen railon seurannan muodossa, jotta se pystyy mukautumaan ennalta asetetuissa rajoissa railon tilavuus ja muotovaihteluihin. Toisaalta, jos kappale on

hyvin robottihitsattavissa ja esivalmistelut ovat tehty huolella, niin robotilla saavutetaan tasa- ja parempilaatusempi hitsi kuin käsinhitsaamalla.

Robotti häviää ihmiselle joustavuudessa ja mukautumiskyvyssä, mutta robotin ei tarvitse pitää taukoja ja yleisenä sääntönä voidaan pitää, että yksi hitsausrobotti vastaa noin kolmea käsinhitsaajaa. Robottiin ei vaikuta valokaaresta aiheutuva lämpörasitus, jolloin voidaan käyttää korkeamman sulatustehon hitsausprosesseja, kuten tandem-MAG-hitsausta perinteisen yksilankaisen MAG-hitsauksen sijasta. Tosin ihmistä tarvitaan operaattorina, joka käyttää yhtä tai useampaa robottia, mutta hitsausrobotilla voi olla myös miehittämättömiä jaksoja. (Meuronen 2011, 12.)

5.2 Hitsausrobotin käyttöaste

Hitsausrobotin käyttöaste kuvaa sen kuormitusta ja sitä aikaa, jonka robotti käyttää hitsaustyöhön. Robottihitsausjärjestelmä on suuri investointi, joten robotille pyritään saamaan mahdollisimman paljon hitsattavaa, jotta sen käyttöaste pysyisi korkeana ja investoinnista saadaan suurin hyöty irti.

Kappaleiden esivalmistusasteesta ja sarjakoosta riippuen robotin käyttöaste voi vaihdella hyvin paljon. Robottihitsaukseen tulevien kappaleiden esivalmistusaste tulee olla sellainen, ettei operaattorin tarvitse käyttää aikaa kappaleen valmistelemiseen, vaan se saataisiin suoraan robotille hitsattavaksi. Hitsauksen jälkeen mahdolliset viimeistelyt ja korjaukset tulisi tehdä robottisolun ulkopuolella. Muuten robotin hitsausaika menee hukkaan, kun operaattorille jää kappaleen silloittaminen sekä viimeistely ja korjaus.

Ideaalisissa tilanteissa operaattori ainoastaan varmistaa, että robotti hitsaa häiriöttömästi, eli operaattorin työnkuva on pääasiassa kappaleiden ja hitsauskiinnittimien vaihtoa sekä ohjelmointia. Tällä tavoin saadaan robotin aika käytettyä tehokkaasti hitsaustyöhön ja operaattorin on mahdollista valvoa useampaa robottia. Toisaalta tämän kaltainen järjestely vaatii useamman ihmisen työpanoksen silloittajana, operaattorina ja viimeistelijänä, jolloin varsinkin pienillä sarjoilla järjestelyn kannattavuus voi kärsiä. Kappaleen viimeistelyn tarvetta voidaan vähentää suunnittelulla, jolloin parhaassa tapauksessa kaikki hitsit voidaan hitsata robotilla ja muun muassa hitsausroiskeiden määrää voidaan vähentää optimoimalla hitsausparametrit.

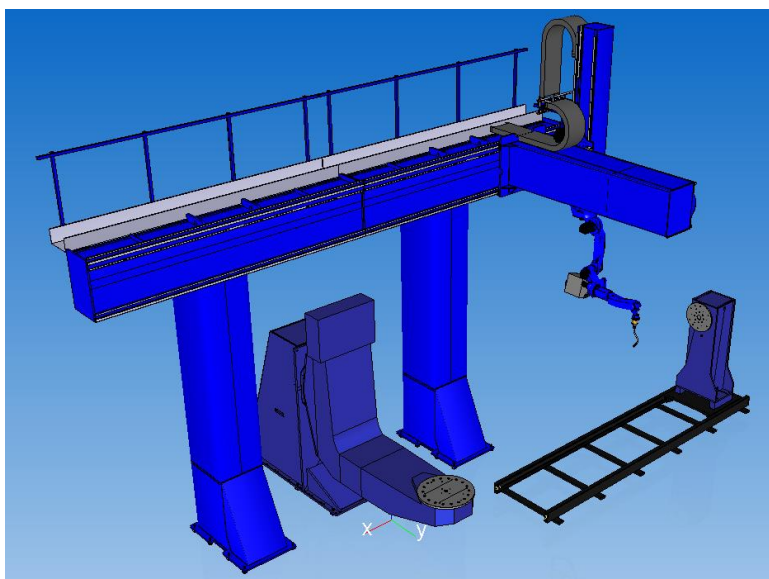
5.3 Ohjelmointitavat tuottavuuden parantamisessa

Käyttämällä lähiohjelmointitapojen sijasta etäohjelmointitapoja voidaan robottihitsauksen tuottavuutta ja käyttöastetta parantaa. Robotin etäohjelmointi poistaa robottihitsauksesta ohjelmointiseisokit, jolloin kappaleen asemoinnin jälkeen voidaan aloittaa hitsaaminen ilman, että aikaa kuluisi tuottamattomaan työhön lähiohjelmoinnin muodossa. Etäohjelmointiohjelmistolla voidaan hitsauskiinnitin suunnitella ohjelmoinnin ohessa. Simuloinnin aikana nähdään, kuinka suuri osa hitseistä voidaan hitsata robotilla ja hitsauskiinnittimen lopullinen rakenne hyväksytään, kun se ei hitsauksen aikana rajoita hitsauspolttimen luoksepäästävyyttä hitsauskohtaan. (Aalto 2010, 32.)

6 ETÄOHJELMOINNIN HYÖDYNTÄMINEN ROBOTTIHITSAUKSESSA

Työn toimeksiantajalla Savonlinna Works Oy:n robottihitsausasemilla on käytössä opettamalla ohjelmointi. Yrityksessä on meneillään robottihitsauksen kehitysprojekteja ja opinnäytetyön aiheeseen liittyen tehtiin case-osio, jossa vertaillaan robotin opettamalla ohjelmointia toiseen ohjelmointitapaan. Vertailtavaksi ohjelmointitavaksi valittiin mallipohjainen etäohjelmointi, koska sen hyödyntäminen on yksi merkittävimmistä tavoista parantaa tuottavuutta ja käyttöastetta robottihitsauksessa. Etäohjelmointiohjelmistossa voidaan lisäksi simuloida kappaleiden robottihitsattavuus ja hitsauskiinnittimien toimivuus.

Työssä käytettiin esimerkkinä Delfoi ARC -etäohjelmointiohjelmistoa hitsausrobottien ohjelmoinnissa ja simuloinnissa. Ohjelmiston robottihitsaussoluun tuotiin case-esimerkkinä hitsattava kappale, jonka avulla havainnollistetaan robotin etäohjelmoinnin työnkulkua ja simuloinnilla kappaleen soveltuvuutta robottihitsaukseen. Kuvan 15 virtuaalisessa robottihitsaussolussa on käytössä 6-akselinen kiertyvänivelinen hitsausrobotti, joka on kiinnitetty 3-akseliseen gantry-rataan. Kappaleenkäsittelylaitteena on 2-akselinen L-pöytä, jota voidaan käyttää myös yksiakselisena ”grillipöytänä” yhdessä vastapöydän kanssa. Kappaleen hitsaamiseen käytetään MIG/MAG-hitsausprosessia.

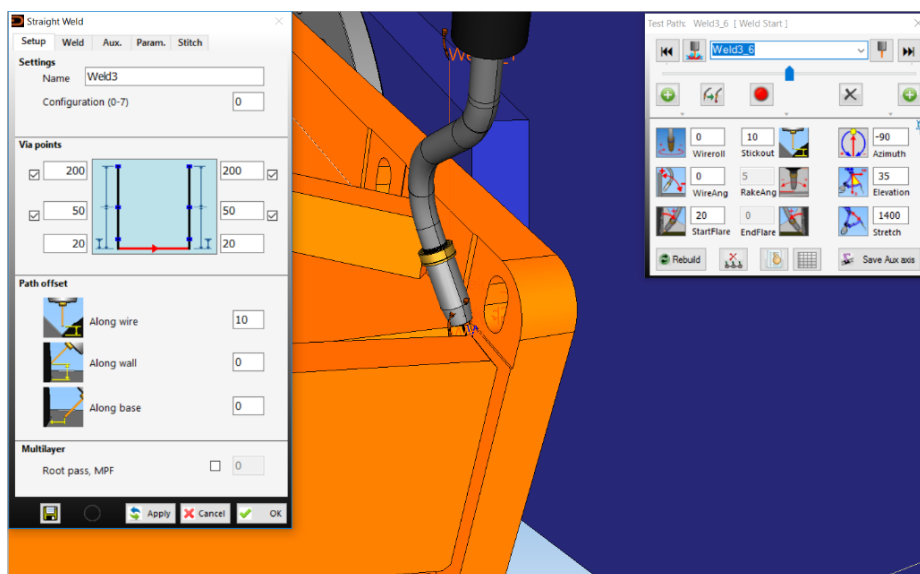


KUVA 15. Delfoi ARC -ohjelmiston virtuaalinen robottihitsaussolu demokäyttöön.

Kuvan 15 valmiiksi mallinnetussa robottihitsaussolussa voidaan aloittaa uusi työ tuomalla kappaleen 3D-malli soluun ja määrittää sille paikka kappaleenkäsittelylaitteeseen. Tässä vaiheessa ei tarvita mallintaa kappaleen hitsauskiinnitintä, sillä ensiksi on selvitettävä, että robotti pystyy hitsaamaan kappaleen halutulla tavalla ja näin välttämään turhalta suunnittelutyöltä hitsauskiinnittimen osalta. Ohjelmiston simulointitoiminnolla nähdään robotin liikeradat ja hitsauskiinnitin voidaan suunnitella liikeradat huomioiden, jolloin vältetään törmäyksiltä.

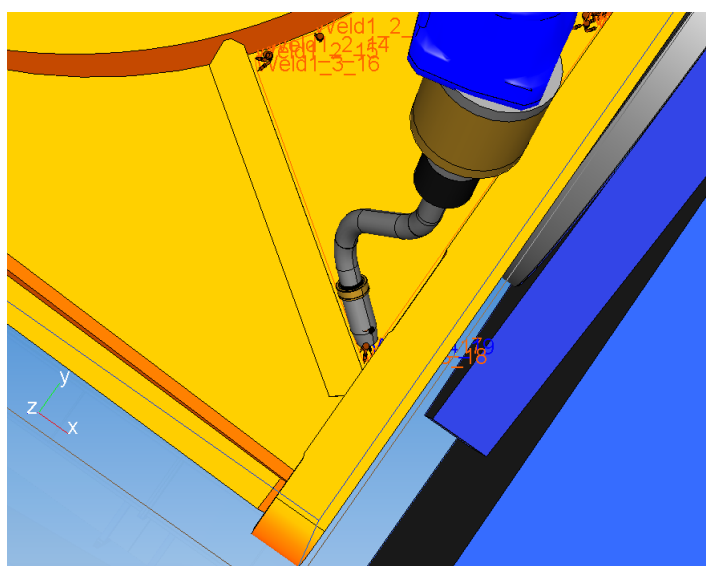
Hitsipolkujen luonti kappaleeseen onnistuu piirteiden tunnistuksen ansiosta vaivattomasti. Ohjelma laskee automaattisesti robotin nivelten konfiguraation, kappaleenkäsittelylaitteen aseman halutun

hitsausasennon mukaisesti ja luo robotille hitsauspolun lähestymis- ja poistumispisteineen. Ohjelmoijia lisää tarvittaessa lähestymis- ja poistumispisteitä, mikäli simuloinnissa huomataan tapahtuvan törmäyksiä. Asetusvalikoista löytyvät kattavat säädöt muun muassa hitsausparametreihin ja robotin asemointiin, ks. kuva 16.



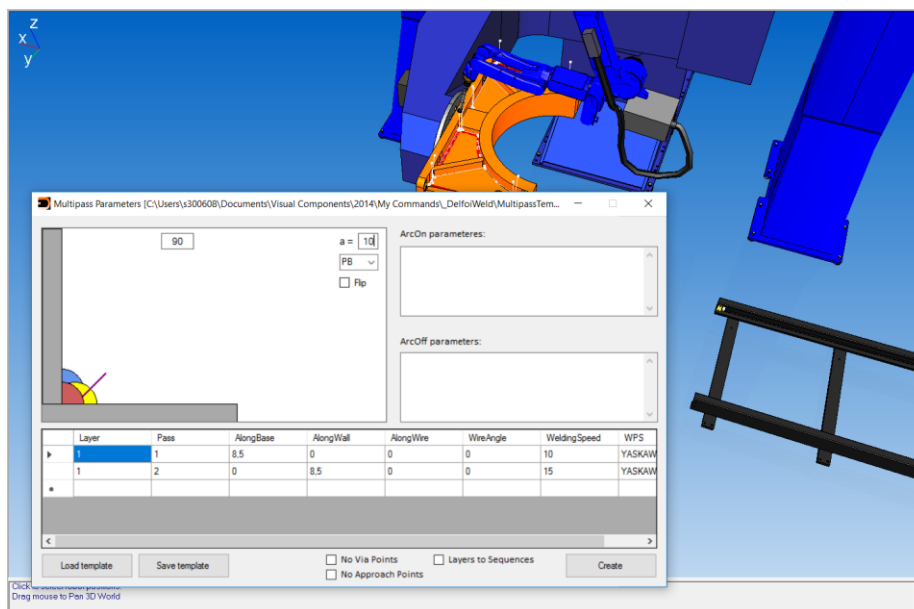
KUVA 16. Hitsauspolun luonti kappaleeseen ja asetusvalikot.

Hitsin luontiin voidaan käyttää kahta eri hitsauspolun luontiin tarkoitettua työkalua, riippuen siitä luodaanko pelkkä suoraviivainen hitsi vai monimuotoisempi hitsi. Robotin hitsauspolun luonti kappaleen taskujen ympäri hitsaamiseen onnistuu helposti, mutta hitsausrataa tarkastellessa ainakin terävien nurkkien osalta käyttäjän pitää käsin muuttaa asetuksia automatiikan jäljiltä, jotta hitsauspolttin ei törmää kappaleeseen. Terävien nurkkien yli hitsaaminen on hankalaa hitsausprosessista riippumatta ja aiheuttaa myös robotin liikeradan luontiin omat hankaluutensa. Hitsauspolttimen asentoa pitää muuttaa merkittävästi lyhyen matkan aikana ja robotti ei välttämättä pysty toteuttamaan hitsauspolttimen asennon muuttamista tarpeeksi nopeasti hitsauksen kannalta, ks. kuva 17. Hitsattavuuden kannalta teräviä nurkkia tulisi välttää kappaleen suunnittelussa.



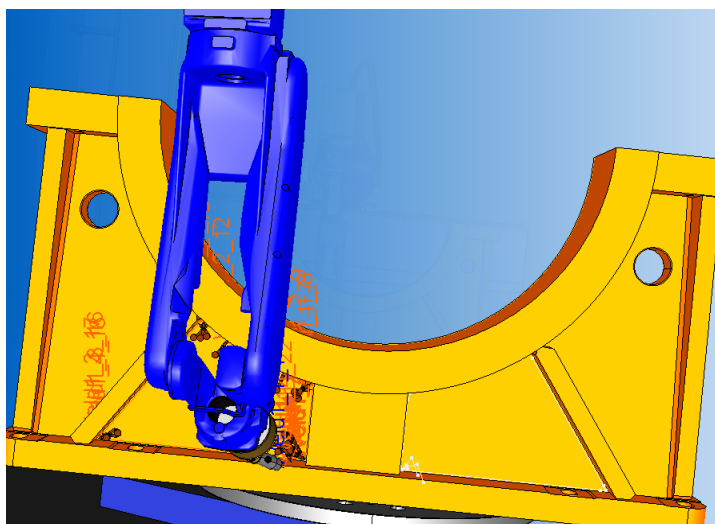
KUVA 17. Haastellinen terävän nurkan yli hitsaus.

Ohjelmistossa on monipalkohitsaukseen työkalu ja sen käyttämisestä on merkittävää hyötyä, kun hitsit vaativat useamman hitsipalon. Kirjastoon luodaan hitseistä tietopankki, johon tallennetaan esimerkiksi a10 pienahitsi hitsausparametreineen, ks. kuva 18. Kirjaston tietopankista voidaan valita hitsi tilanteen mukaan ja ohjelmisto laskee täyttöpalkojen polut aiemmin luodun 1. hitsipalon mukaan.



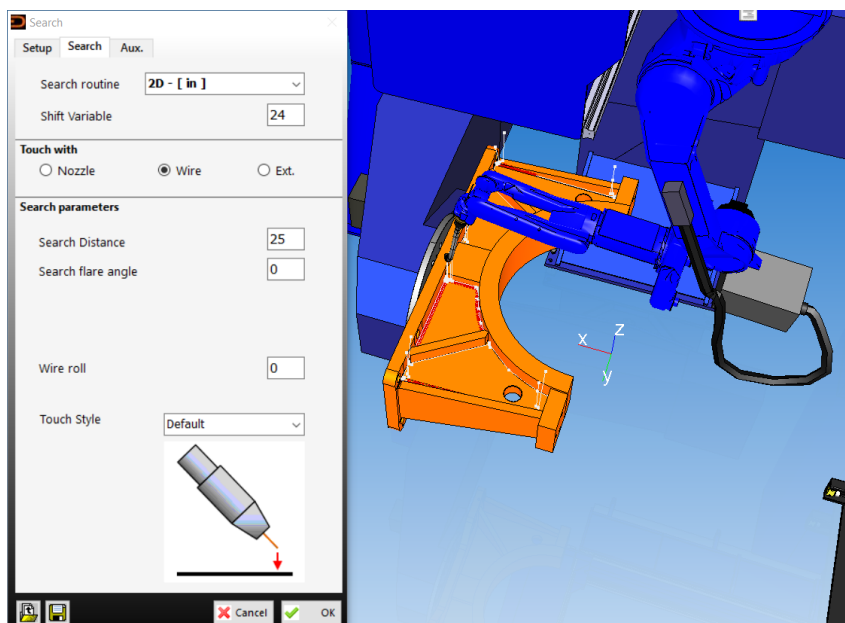
KUVA 18. Monipalkohitsauksen parametrivalikko.

Symmetrisessä kappaleessa ei tarvita jokaista hitsattavaa polkua luoda erikseen, sillä ohjelmistossa löytyvät kattavat hitsipolkujen kloonauk- ja kopionityökalut, joiden avulla pystytään muun muassa peilaamaan hitsauspolut toiselle puolelle kappaletta. Ominaisuus nopeuttaa huomattavasti ohjelmointia, kun esimerkiksi mallikappaleen hitsauspoluista tarvitaan luoda vain neljäsosa ja loput peilaataan kappaleen keskilinjan toiselle puolelle, ks. kuva 19. Peilaus voidaan tehdä myös kappaleen kääntöpuolelle, jolloin ohjelmisto laskee uudelleen kappaleenkäsittelylaitteen aseman peilauksen yhteydessä ja kappale pyörittää 180° ideaaliin hitsausasentoon.



KUVA 19. Kappaleen symmetrisyys on etu ohjelmoinnissa.

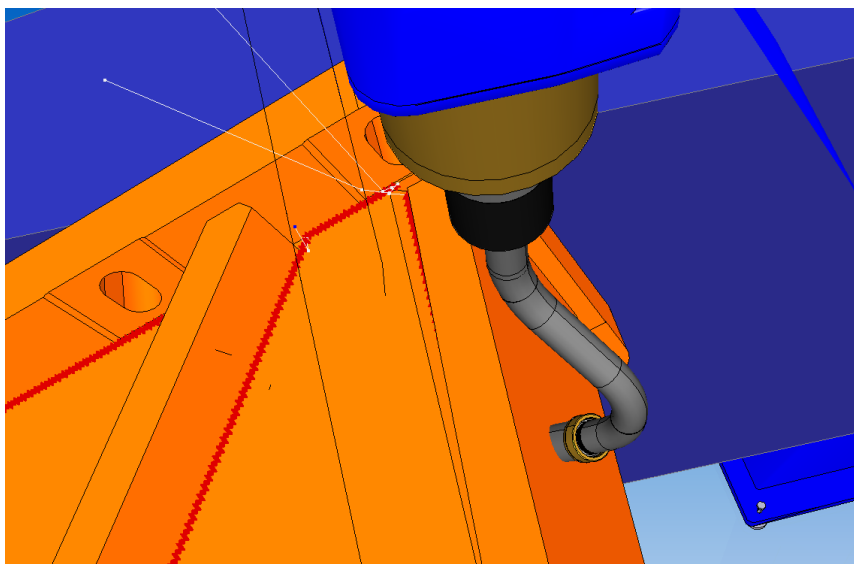
Hitsattavissa kappaleissa tai sen paikoituksessa on monesti mittaepätarkkuuksia, jolloin onnistuneeseen robottihitsaukseen tarvitaan railonhakuja ja hitsauksen aikana railonseurantaa. Käytössä olevasta railonhakujärjestelmästä riippuen railon haku voidaan tehdä lisäainelangalla, kaasusuuttimella tai käyttämällä ulkoista järjestelmää, kuten optista railonhakua. Käyttäjä voi valita hakusuuntien määrän haettavan railon mukaan ja tässä tapauksessa käytetään kahden suunnan hakua, ks. kuva 20.



KUVA 20. Kappaleen railonhaku.

Railonhaulla pystytään määrittämään hitsauksen aloitus- ja lopetuskohta, mutta hitsauksen aikana railonseurannalla varmistetaan robotin hitsauspolun pysyminen railossa. Monipalkohitsauksessa hitsausvirheiden kertaantumisen välttämiseksi voidaan railonseurannalla 1. hitsipalon polku tallentaa robotin muistiin ja seuraavat hitsipalot hitsataan tallennetun polun mukaisesti ilman railonseurantaa. Toisaalta hitsauksen muodonmuutokset saattavat olla sen verran suuret, että niistä aiheutuu hitsausvirheitä seuraaville hitsipaloille. Riittävän vahvalla levyrakenteella, kuten mallikappaleen tapauksessa, hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset pysyvät kurissa, eivätkä aiheuttaisi ongelmia kappaleen hitsauksessa.

Hitsauspolkujen ja muiden liikeratojen luonnin jälkeen voidaan simuloida kappaleen hitsaus ja nähdään, kuinka robotti suorittaa liikkeit. Simuloinnin yhteydessä havaitaan muun muassa mahdolliset törmäykset, ks. kuva 21 ja robotin nivelten liikealueiden ylitykset. Mikäli ongelmia havaitaan, niin liikeratojen muuttaminen ja liikepisteiden lisääminen onnistuvat jälkikäteen. Lisäksi hitsausjärjestyksen muuttaminen onnistuu vaihtamalla hitsausrutiinien paikkaa työkierron aikajanalla.



KUVA 21. Simuloinnissa on havaittu hitsauspolttimen törmäys kappaleeseen.

Oikeilla prosessi- ja hitsausparametreilla simuloinnista saadaan hyödyllistä tietoa, kuten robotin todellinen työkierto- ja valokaariaika. Tietojen avulla voidaan esimerkiksi laskea kappaleen hitsauskustannukset. Lisäksi hitsausrobotin kuormitus saadaan tarkaksi, kun uusien kappaleiden hitsausaika tiedetään etukäteen ja tuotantoa on helpompi suunnitella.

Simuloinnin jälkeen toimivaksi todetusta ohjelmasta generoidaan postprosessorilla robottimerkkikohmainen tekstipohjainen ohjelmakoodi, jossa ohjelmistolla luotu ohjelma on robotin ymmärtämässä muodossa. Ohjelmoija voi tarvittaessa lisätä käskyjä ohjelmakoodiin tai muuttaa sitä tietokoneella ennen ohjelman siirtoa robotille. Ohjelman alaslataus robotille voidaan suorittaa muun muassa lähiverkon kautta tai käyttämällä ulkoista tiedonsiirtolaitetta.

Etäohjelmoinnilla tehdylle ohjelmalle suoritetaan usein testiajo todellisessa robottisolussa, ennen kappaleen hitsauksen aloittamista. Testiajolla varmistetaan ohjelman toimivuus ja voidaan ehkäistä ongelmatilanteita itse hitsausohjelmassa, kuten törmäyksiä ja hitsauspolkujen virheellisiä sijainteja. Muun muassa tarkalla kalibroinnilla sekä railonhaun ja -seurannan käyttämisellä voidaan välttyä kyseisiltä ongelmatilanteilta.

7 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Robottihitsausta pystytään tehostamaan valitsemalla tuotantoon sopivin ohjelmointitapa ja luoda edellytykset sen tehokkaalle käytölle. Ohjelmointitavan valintakriteereitä voivat olla muun muassa helppokäyttöisyys tai tuottavuuden parantaminen. Robotin ohjelmointitapoja on useita ja ne jaetaan kahteen pääryhmään: lähi- ja etäohjelmointiin. Lähiohjelmointitapojen suurin heikkous on, että robotti ja työkappale tarvitaan ohjelmoinnin aikana, jolloin robotti ei ole tuotantokäytössä. Etäohjelmointitapojen suurin vahvuus on taas ohjelmien luonti keskeyttämättä robotin tuotantoa. Taulukossa 9 kerrataan työssä käsitellyt robotin ohjelmointitavat sekä niiden vahvuuksia ja heikkouksia.

TAULUKKO 9. Robotin ohjelmointitapojen suurimmat vahvuudet ja heikkoudet.

Ohjelmointitapa	Vahvuudet	Heikkoudet
Opettamalla ohjelmointi (lähiohjelmointi)	Ominaisuus robotin ohjauksessa, ei vaadi lisäinvestointeja.	Ohjelmoinnin hitaus monimuotoisissa kappaleissa.
Taluttamalla ohjelmointi (lähiohjelmointi)	Operaattori pystyy käyttämään robottia hyvin vähäisellä kokemuksella.	Voima-ohjauksen tarkkuus – robotti voi lähteä vaeltamaan.
Konenäköpohjainen ohjelmointi (lähiohjelmointi)	Nopea ohjelmointi monimuotoisissa kappaleissa.	Käyttöönotto – asetuksien ja parametrien säätö.
Parametrinen ohjelmointi (lähiohjelmointi)	Operaattori pystyy käyttämään robottia hyvin vähäisellä kokemuksella.	Toimivan ohjelmarungon ja käyttöliittymän tekeminen.
Mallipohjainen ohjelmointi (etäohjelmointi)	Monimutkaisten hitsausgeometrioiden luonti onnistuu vaivattomasti ja nopeasti.	Virtuaalisolun ja todellisen solun väliset eroavaisuudet – kalibroinnin tärkeys.
Tekstipohjainen ohjelmointi (etäohjelmointi)	Ohjelmarungon kopiominen ja liittäminen toiseen robottityöhön.	Suppeat ominaisuudet ohjelman luomiseen.

Hitsauksen tuottavuutta voidaan parantaa siirtämällä robotille soveltuvia hitsaustöitä. Hitsattavien kappaleiden soveltuvuutta robottihitsaukseen pystytään parantamaan ottamalla huomioon robottihitsauksen asettamat vaatimukset muun muassa luoksepäästävyys hitsauskohtaan, soveltuvat liitos- ja railomuodot sekä hitsausmenetelmät. Robotilla on edellytyksiä hitsata kolmen käsinhitsaajan edestä, joten investoinnin kannattavuuden takia on tärkeää, että robotille riittäisi hitsattavaa. Robotilla voidaan käyttää myös tehokkaampia hitsausprosesseja, kuten laserhitsausta, jota ei ole mahdollista käyttää käsinhitsauksessa tarkkuus- ja turvallisuusvaatimusten takia.

Robottihitsauksen tuottavuutta ja käyttöastetta voidaan parantaa esimerkiksi käyttämällä robotin ohjelmointitapaa, mikä mahdollistaa lyhyen ohjelmointiajan. Työn tarkoituksena oli tutkia, saavute-

taanko Savonlinna Works Oy:n robottihitsausasemilla tuottavuuden ja käyttöasteen kasvua, käyttämällä opettamalla ohjelmoinnin sijasta muita robotin ohjelmointitapoja uusien kappaleiden robottihitsauksessa. Vertailtavaksi ohjelmointimenetelmäksi valikoitui mallipohjainen etäohjelmointi. Case-esimerkkinä oli etäohjelmoinnin hyödyntäminen robottihitsauksessa ja ohjelmoinnin työkulua havainnollistettiin työkappaleella.

Robotin mallipohjainen etäohjelmointi ja opettamalla ohjelmointi eroavat merkittävästi toisistaan, muutenkin kuin, että etäohjelmointi tapahtuu tietokoneella virtuaalisolussa ja opettamalla ohjelmointi operaattorin ollessa paikan päällä todellisessa robottisolussa. Ohjelmoinnin lähtökohdat ovat hyvin erilaiset, sillä etäohjelmointiohjelmistolla pystytään määrittämään tarkasti kappaleen robottihitsattavuus käytettävissä olevan laitteiston mukaan ja mahdollisiin ongelmakohtiin pystytään reagoimaan etukäteen, ennen kuin tehdään päätös kappaleen robottihitsauksesta.

Opettamalla ohjelmoinnissa ei pystytä etukäteen simuloimaan kappaleen robottihitsattavuutta samalla tavoin, kuin etäohjelmointiohjelmistossa, vaan hitsattavuuden arvionti perustuu kappaleen 3D-malleihin, piirustuksiin ja kokemukseen robottihitsauksesta. Hitsigeometrialtaan monimuotoisessa kappaleessa voi opettamalla ohjelmoinnissa tulla odottamattomia ongelmia, muun muassa robotin luokse päästävytydessä hitsauskohtaan tai hitsauskiinnitin on robotin tiellä hitsaamisen aikana.

Robotin opettamalla ohjelmointi on hyvin työlästä hitsigeometrialtaan monimuotoisessa kappaleessa, jonka robottihitsaus vaatii kappaleenkäsittelylaitteelta ja robottiradalta useampaa akselia. Esimerkkinä kuvan 15 virtuaalinen robottihitsaussolu, jossa on robotin kuuden akselin lisäksi viisi ulkoista akselia. Opettamalla ohjelmoinnissa operaattorin pitää käsiohjainta käyttäen ajaa robotti ja ulkoiset akselit haluamaansa asentoon paikkapiste kerrallaan, joka vie aikaa. Etäohjelmoinnissa ohjelmoija valitsee robotille hitsauspolun kappaleen piirteiden mukaisesti, jonka jälkeen ohjelmisto laskee muutamassa sekunnissa valittujen parametrien mukaan robotin ja ulkoisten akselien asemat sekä luo robotille hitsauspolun lähestymis- ja poistumispisteineen.

Robotin opettamalla ohjelmoinnissa etenkin suurten kappaleiden hitsauksessa tulee ottaa huomioon työturvallisuus, kun operaattorin tulee olla robotin lähellä todentaakseen sen aseman. Operaattori voi joutua ohjelmoimaan robottia korkealla lattian tasosta, jolloin tarvitaan turvavarusteita, kuten turvavaljaita. Lisäksi kappaleen koko ja muoto voivat aiheuttaa sen, että operaattori ei pysty turvallisesti todentamaan robotin asemaa sitä ohjelmoidessa. Etäohjelmoinnissa ei vastaavaa ongelmaa ole, toisaalta ohjelman testauksessa todellisessa ympäristössä voidaan törmätä samaan ongelmaan, jos operaattorin pitää todentaa robotin asema lähietäisyydeltä.

Etäohjelmoinnin avulla saadaan robotti ohjelmoitua huomattavasti nopeammin kuin opettamalla ohjelmoinnissa ja mitä monimutkaisempi hitsigeometria, sitä enemmän etäohjelmoinnista on hyötyä. Tämä mahdollistaa myös pienempien sarjojen hitsaamisen, kun ohjelmointiaika pystytään pitämään lyhyenä verrattuna kappaleiden hitsausaikaan. Etäohjelmointiohjelmiston tehokkaan käytön oppiminen Delfoi ARC -ohjelmiston tapauksessa ei ole ylitse pääsemätöntä, joten etäohjelmoinnin käytön ototon kynnyskysymyksenä ei voi pitää ohjelmistojen käytön vaikeutta.

Savonlinna Works Oy:n tapauksessa robottien ohjelmointitapojen monipuolistaminen esimerkiksi etäohjelmoinnin käyttöönotolla ei yksinään mahdollista robottihitsattavien kappaleiden määrään lisäystä ja tuomalla siten tavoiteltua käyttöasteen ja tuottavuuden kasvua. Etäohjelmointi ei tuo myöskään merkittäviä etuja verrattuna opettamalla ohjelmointiin nykyisten robotilla hitsattavien kappaleiden kohdalla.

Etäohjelmointi on kuitenkin tehokas tapa robotin ohjelmointiin hitsausgeometrialtaan monipuolisilla kappaleilla ja moniakselisilla kappaleenkäsittelylaitteilla. Simuloinnissa case-esimerkkikappale todettiin soveltuvan robotilla hitsattavaksi, jonka kappaleenkäsittelylaitteena oli 2-akselinen L-pöytä. Kappaleen lähes kaikki hitsit pystytään hitsaamaan robotilla, poikkeuksena tukiripojen viistettyjen railojen hitsaus, joiden hitsaaminen laadukkaasti hankalaa ilman adaptiivisia railonseurantamenetelmiä. Suurimpia haasteita hitsauksessa aiheuttavat terävien nurkkien ylitykset, mutta hitsaus- ja prosessiparametrien säätämällä nurkkien ylitykset onnistuivat.

Omat haasteensa robottihitsattavien kappaleiden määrän lisäämiselle tuovat hitsausasemien erityispiirteet. Asemat ovat suunnittelu tiettyjen kappaleiden robottihitsaukseen, jotka ovat määrittäneet layoutin robottiratoineen ja kappaleenkäsittelylaitteineen. Tehdyt ratkaisut eivät ole kovin joustavia ja asemiin on siten tehtävä investointeja, jotka mahdollistavat laajemmin uusien kappaleiden robottihitsauksen. Investoinnit suuntautuisivat ensijaisesti kappaleenkäsittelylaitteistoihin ja hitsauskiinnittimiin. Etäohjelmoinnista ja simuloinnista olisi hyötyä siinä vaiheessa, kun esimerkiksi kappaleenkäsittelylaitteet mahdollistaisivat laajemmin uusien kappaleiden hitsauksen robottihitsausasemilla. Hitsausrobottien käyttöä ja ohjelmointia pystyttäisiin sen sijaan helpottamaan pelkästään ohjelmointitapoja muuttamalla, kuten taluttamalla tai parametrisella ohjelmoinnilla.

Yrityksen robottihitsausasemien käyttämätön potentiaali pystyttäisiin ottamaan käyttöön määrätietoisella kehitystyöllä, joka ulottuisi tuotesuunnittelusta aina johdon sitoutumiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa kappaleiden robottihitsattavuuden kartoittamisen jatkamista aiempien projektien pohjalta. Kappaleille määritetään ensisijainen robottihitsausasema ja millä edellytyksin ne olisivat hitsattavissa, joten asemien kehityskohteet olisivat selkeästi tiedossa. Mikäli kappaleissa havaitaan robottihitsavuutta parantavia seikkoja, niin tuotesuunnittelussa pystytään tarvittavat muutokset toteuttamaan. Robottihitsausasemien käyttöasteen ja tuottavuuden parantamisen konkreettinen toteuttaminen vaatii investointeja ja osapuolilta pitkäjänteistä sitoutumista.

8 YHTEENVETO

Hitsausrobotin ohjelmointiin on useita eri tapoja ja ohjelmointitavoissa on omat erityispiirteensä. Osassa ohjelmointitapoja, kuten taluttamalla ja parametrisessa ohjelmoinnissa on keskitytty helppokäyttöisyyteen ja varsinaisen ohjelmointityön vähentämiseen. Kyseisillä ohjelmointimenetelmillä kokematon operaattori oppii nopeammin käyttämään robottia verrattuna esimerkiksi perinteiseen opettamalla ohjelmointiin. Ohjelmointitavoissa, kuten mallipohjaisessa etäohjelmoinnissa pääpaino on tehokkaassa robotin ohjelmoinnissa ja ohjelmointi tapahtuu tietokoneella tuotantoa häiritsemättä. Ohjelmiston ominaisuuksia hyödyttämällä ohjelmointiaika saadaan lyhyeksi ja saavutettu hyöty pystytään siirtämään kappaleen hitsaamiseen.

Virtuaali- ja lisätty todellisuus mahdollistavat uudenlaisia lähestymistapoja robotin ohjelmointiin ja käyttöliittymien luontiin. Tällä hetkellä sovellukset näyttäisivät olevan tutkimus- ja kehitysasteella, eikä valmiita ohjelmointisovelluksia löytynyt kaupalliseen käyttöön. Nähtäväksi jää, saavutetaanko virtuaali- ja lisätyllä todellisuudella ohjelmoinnissa merkittäviä etuja verrattuna perinteisimpiin ohjelmointitapoihin vai jääkö teknologian käyttö lähinnä entistä visuaalisempien ja intuitiivisempien ohjelmointikäyttöliittymien kehittämiseen.

Robottien ohjelmointiin ja niiden läheisyydessä työskentelyyn liittyy työturvallisuuden huomioiminen. Käytettävästä ohjelmointitavasta riippuen voidaan vaikuttaa operaattorin työturvallisuuteen. Lähiohjelmoinnissa operaattorin tulee olla robotin lähellä todentaakseen sen aseman. Kappaleen koosta ja muodosta riippuen operaattorin työympäristö robotin ohjelmointiin voi olla tapaturmalle altis. Etäohjelmoinnissa ei ole luonnollisesti kyseisiä vaaroja, mutta ohjelman testauksessa todellisessa robotisolussa voidaan joutua todentamaan robotin asema lähietäisyydeltä. Turvallisuuteen liittyen robotti-ihminen-yhteistyön kehittäminen avaa uusia mahdollisuuksia käyttää robotteja ihmisten apuna tuotannossa.

Robottihitsauksen tuottavuuden ja käyttöasteen parantamiseen on monia eri keinoja. Hyödyntämällä robotin etäohjelmointia, voidaan tuotannosta riippuen saavuttaa merkittäviä säästöjä. Kyseinen ohjelmointitapa soveltuu parhaiten robottihitsaukseen, jossa kappaleissa on erityyppisiä hitsigeometrioita ja kappaleiden vaihtuvuus on suurta, jolloin etäohjelmoinnin hyödyt ovat suurimmillaan verrattuna lähiohjelmointiin. Robotin kuormankantokyky, liiketarkkuus ja lämpörasituksen sietokyky käyttö mahdollistaa tehokkaampien hitsausprosessien käytön käsinhitsaukseen verrattuna, jolloin vaihtamalla tai optimoimalla käsinhitsauksessa käytetty hitsausprosessi robottikäyttöön lisää hitsauksen tuottavuutta. Hitsausrobotin käyttö on luonnollisesti tehokkaimillaan, kun robotti hitsaa. Käyttöäsetteja ja tuottavuutta voidaan parantaa myös pienen askelin poistamalla turha työ, mikä estää operaattoria varmistamasta, että robotilla on hitsattavaa ja hitsauksen häiriöttömyyttä.

Työn case-osiossa tutkittiin mallipohjaisen etäohjelmoinnin hyödyntämistä robottihitsauksessa käyttämällä Delfoi ARC -etäohjelmointiohjelmistoa. Toimeksiantajalta valittiin mahdollisimman hyvin soveltuva kappale etäohjelmoituun robottihitsaukseen. Kappaleessa on suurikokoisia pienahitsejä ja symmetrisiä muotoja, jolloin ohjelmiston ominaisuudet esimerkiksi monipalkohitsien luomisessa ja

hitsien peilaamisessa tulivat hyvin esille. Etäohjelmointi todettiin tehokkaaksi ohjelmointitavaksi, jolloin robotin ohjelmointiin kuluva aika pystytään merkittävästi pienentämään hitsigeometrialtaan monimuotoisissa kappaleissa. Lisäksi simuloinnin hyödyntäminen muun muassa kappaleiden robottihitsattavuuden määrittämisessä ja hitsauskiinnittimen suunnittelussa tekevät mallipohjaisesta etäohjelmoinnista varteenotettavan ohjelmointitavan myös pieniin tuotantosarjoihin.

Hitsaustuotannossa robottien osuus hitsimetrien määrästä tulee lisääntymään, kun osaavasta työvoimasta on pulaa ja lisäksi kilpailukyvyyn säilyttäminen vaatii hitsauksen tuottavuuden nostamista. Robottien tulee olla entistä helppokäyttöisempiä, jotta kynnys niiden käytön ja ohjelmoinnin oppimiselle olisi mahdollisimman pieni. Tämä luo tulevaisuudessa tarvetta uusien ohjelmointitapojen ja käyttöliittymien kehittämiseksi.

LÄHTEET

- AALTO, Heikki 2009. Etäohjelmoinnin tarkkuus. Hitsaustekniikka 6/2009, Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y.
- AALTO, Heikki 2010. Robottihitsauksen tuottavuuden parantaminen. Hitsaustekniikka 5/2010, Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y.
- DELFOI 2018. Delfoi ARC kaarihitsaus- ja laserhitsaussovellukset. [www-sivu]. [Viitattu 2018-03-06]. Saatavissa: https://www.delfoi.com/web/products/delfoibotics/fi_FI/delfoi_arc/
- HITSAUSSANASTO, YLEISTERMIT. 1 Yleiset termit ja liitosmuodot. 1995. SFS 3052. Vahvistettu 1995-09-25. Viides painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto
- HILTUNEN, Esa 2005. Hitsauksen automatisointimahdollisuuksien huomiointi. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2018-02-28]. Saatavissa: http://webd.savonia.fi/projektit/markkinointi/HIT/users/materials/commonmaterial/seminars/Hitsaus_tekniikkaa_suunnittelijoille/2005-09-27_Hitsauksen_automatisointi_Esa_Hiltunen.pdf
- HILTUNEN, Esa ja PURHONEN, Tero 2008. Robottihitsauksen laatu – monen tekijän summa. Hitsaustekniikka 4/2008, Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y.
- IONIX 2018. MIG/MAG-hitsaus. [Kuva]. [Viitattu 2018-02-19]. Saatavissa: <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/kaarihitsaus/migmag-hitsaus/>
- JÄÄSKELÄINEN, Esa 2017. MIG/MAG-hitsaus robotilla ja etäohjelmointi. Opetusmateriaali. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2018-03-01]. Saatavissa: <https://moodle.savonia.fi/mod/resource/view.php?id=72695&redirect=1>. Vaatii käyttöoikeuden.
- KUIVANEN, Risto 1999. Robotiikka, Suomen robotiikkayhdistys Ry. Vantaa: Talentum Oyj. ISBN 951-9438-59-0
- KUUSISTO, Tuomo 2014. Käytännön ohjeita MIG/MAG-hitsaukseen. 4. uudistettu painos. Oy AGA Ab.
- KONEDIREKTIIVIN 2006/42/EY soveltamisopas 2010. Vahvistettu 2010. EUROOPAN KOMISSIO YRITYS- JA TEOLLISUUSTOIMINTA. Toinen painos. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2018-02-23]. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/9202/attachments/1/translations/fi/renditions/pdf>
- LEMPIÄINEN, Juhani ja SAVOLAINEN, Jari 2003. Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu. Helsinki: Hakapaino Oy. ISBN 951-973329-1-8

LEPOLA, Pertti ja YLIKANGAS, Risto 2016. Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet. Helsinki: Sanoma Pro Oy. ISBN 978-952-63-1612-3

LINCOLN ELECTRIC 2018. Intelligent robotic detail. [Kuva]. [Viitattu 2018-04-24]. Saatavissa: <http://www.lincolnelectric.com/en-us/support/process-and-theory/Pages/intelligent-robotic-detail.aspx>

MALM, Timo 2008. Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus, Suomen robotiikkayhdistys Ry. Helsinki: Hakapaino Oy. ISBN 978-951-97329-4-7

MALM, Timo 2017. Guidelines to make safe industrial robot systems, VTT. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2018-02-26]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2017/VTT-R-01109-17.pdf>

MEURONEN, Ismo 2011. Tuottavuuden parantaminen robottihitsauksella. Hitsaustekniikka 3/2011, Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y.

NI, D., YEW, A. W. W., ONG, S.K. ja NEE, A.Y.C. 2017. Haptic and visual augmented reality interface for programming welding robots. Advances in Manufacturing, September 2017, Volume 5, Issue 3, pp 191-198.

PAN, Zengxi, POLDEN, Joseph, LARKIN, Nathan, VAN DUIN, Stephen ja NORRISH, John 2012. Recent progress on programming methods for industrial robots. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 28 (2)

REALITYTECHNOLOGIES 2018a. The Ultimate Guide to Augmented Reality (AR) Technology. [www-sivu]. [Viitattu 2018-03-07]. Saatavissa: <http://www.realitytechnologies.com/augmented-reality>

REALITYTECHNOLOGIES 2018b. The Ultimate Guide to Virtual Reality (VR) Technology. [www-sivu]. [Viitattu 2018-03-07]. Saatavissa: <http://www.realitytechnologies.com/virtual-reality>

ROBOTIT JA ROBOTIIKKALAITTEET 2011. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. 2011. SFS-EN ISO 10218-1. Vahvistettu 2011-09-05. Metalliteollisuuden Standardisoimis yhdistys ry. Kolmas painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

ROBOTICS 2018. Quick Guard Cell. [Kuva]. [Viitattu 2018-02-26]. Saatavissa: https://www.robotics.org/userAssets/riauploads/image/ABB_JOKAB_Quick-Guard_Cell.jpg

ROBOTIQ 2018a. Universal Robots in Volkswagen Facilities. [Kuva]. [Viitattu 2018-02-28]. Saatavissa: <https://blog.robotiq.com/bid/67739/Case-Study-Universal-Robots-in-Volkswagen-Facilities>

ROBOTIQ 2018b. Kinetic Teaching Robotic Welding. [Kuva]. [Viitattu 2018-02-28]. Saatavissa: <http://robotiq.dompteursdesouris.com/solutions/robot-teaching/>

ROBOTS 2018. ABB offers VR integration for Robot programming. [www-sivu]. [Viitattu 2018-03-13]. Saatavissa: <https://www.robots.com/blog/viewing/abb-offers-vr-integration-for-robot-programming>

ROBOTWORX 2018. What are six axis robots. [Kuva]. [Viitattu 2018-02-07]. Saatavissa: <https://www.robots.com/faq/show/what-are-six-axis-robots>

ROVICOR 2018. Laser Sensor for Joint Tracking in Robotic Arc Welding. [Kuva]. [Viitattu 2018-04-24]. Saatavissa: <http://rovicor.com/en/products/vs-for-robots/sts-200-r/>

SALMI, Timo, VÄÄTÄINEN, Otso, MALM, Timo ja MARSTIO, Ilari 2014. Ihmisen ja robotin yhteistyö – haasteita ja mahdollisuuksia, VTT. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2018-02-26]. Saatavissa: <http://www.seduaikuiskoulutus.fi/loader.aspx?id=0d7263fb-10e4-4f13-863c-71ea61821eeb>

SAVONLINNA WORKS OY 2018. Savonlinna Works Oy, kotisivut. [www-sivu]. [Viitattu 2018-02-06]. Saatavissa: <https://connect.andritz.com/loc/0238/Pages/homepage.aspx>. Vaatii käyttöoikeuden.

SIEMENS 2018. Safety Laser Scanner. [Kuva]. [Viitattu 2018-02-26]. Saatavissa: https://support.industry.siemens.com/cs/images/58804919/html_aufgabe.png

STENBACKA, Nils 2009. Hitsaustalous ja tuottavuus, Suomen hitsausteknillinen yhdistys. Tampere: Eräsalon kirjapaino Oy, 2011. ISBN 978-951-98121-3-8

TYÖTERVEYSLAITOS 2009. Käytössä olevien koneiden riskinarvionti. [Verkkodokumentti.] Malliratkaisu metallin työstöön. [Viitattu 2018-23-02]. Saatavissa: https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/11/Malliratkaisu_Kaytossa_olevien_koneiden_riskinarviointi.pdf

UNIVERSAL ROBOTS 2018. How Augmented Reality and Cobots Drive the Next Wave of Automation. [Kuva]. [Viitattu 2018-03-16]. Saatavissa: <https://blog.universal-robots.com/hs-fs/hubfs/images/Blog/2017/Week%2046/Joel-Neidig%2C-Business-Development-with-UR5-cobot.jpg?t=1521220253410&width=702&height=404&name=Joel-Neidig%2C-Business-Development-with-UR5-cobot.jpg>

WIRED 2018. Want to really to teach a robot? Command it with VR. [Kuva]. [Viitattu 2018-03-13]. Saatavissa: <https://www.wired.com/story/embodied-intelligence-want-to-really-teach-a-robot-command-it-with-vr/>